Die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung bei der Bestimmung optimaler Werkstattbestände

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
bei der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen
Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Diplom-Kaufmann Maximilian Lemân
aus Freiburg/Breisgau

1968

Die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung bei der Bestimmung optimaler Werkstattbestände

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
bei der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen
Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Diplom-Kaufmann Maximilian Lemân
aus Freiburg/Breisgau

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. Horst Sanmann
Referent: Professor Dr. Drs. h.c. Erich Kosiol
Korreferent: Professor Dr. Wolfgang Wetzel
Tag der mündlichen Prüfung: 13. Februar 1968

G l i e d e r u n g

	Seite
A. Einleitung	5
I. Einige Bemerkungen zum Wahrscheinlichkeitsbegriff	5
II. Wahrscheinlichkeit und unternehmerische Entscheidung	11
III. Zufall und Wahrscheinlichkeit	19
IV. Abgrenzung des Themas und Problemstellung	25
B. Organisatorische Lager im Transformationsprozess	34
I. Organisatorische Lager und Werkstattbestand	34
1. Die Abgrenzung des Werkstattbestandes zum organisatorischen Lager	34
2. Zum Inhalt des Begriffes Werkstattbestand	36
II. Die Wechselbeziehungen zwischen der Organisation der Produktion und dem Werkstattbestand	39
1. Die Bestimmungsgrößen für Werkstattbestände	39
2. Werkstattbestände in der Fließ-Fertigung	47
3. Werkstattbestände in der Einzel- und Serienfertigung	50
4. Die Analyse der Einflußfaktoren von Liegezeiten	51
a) Die Prüfung der originären Einflußfaktoren	52
aa) Die Kapazitätsbedingung	52
bb) Die technische Bedingung	53
cc) Die organisatorische Bedingung	55
b) Die abgeleiteten Einflußfaktoren	56
aa) Die abgeleitete Einflußgröße erster Ordnung	56

Seite

bb) Abgeleitete Einflußgrößen zweiter Ordnung 64

5. Normierte Liegezeiten und ihre Verwendung zur Bestimmung des Grades der Werkstattorganisation 65

III. Die Ursachen abgeleiteter Einflußgrößen zweiter Ordnung und die Methoden ihrer Quantifizierung 67

C. Die Wahrscheinlichkeitsfunktion im industriellen Arbeitsprozess 72

I. Wahrscheinlichkeitsfunktionen bei menschlichen Arbeitsverrichtungen und den dabei auftretenden Fehlern 72

II. Wahrscheinlichkeitsfunktionen für die Ereignishäufigkeit von Fehlern bei Arbeitsmitteln 76

III. Wahrscheinlichkeitsfunktionen für das Zusammenwirken von Mensch und Maschine 88

D. Die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung im industriellen Arbeitsprozess 90

I. Redundante Systeme 90

1. Abgrenzung der Begriffe System und Redundanz 90

2. Redundante Systeme und ihre Darstellung 92

3. Ein Beispiel für den Einsatz eines redundanten Systems im Transformationsprozess 96

a) Untersuchungsobjekt und Problemstellung 96

b) Die Rechenmethode 97

Seite

II. Ausfallhäufigkeit eines Stanzwerkzeuges und die daraus abgeleitete Wahrscheinlichkeitsfunktion für die Lebensdauer des schwächsten Gliedes einer Kette gleicher Glieder 105

1. Untersuchungen der Ausfallhäufigkeit eines Stanzwerkzeuges 105

2. Die Ableitung des Verteilungsgesetzes für die Lebensdauer des schwächsten Gliedes einer Kette gleicher Glieder 111

III. Die Ermittlung von Liegezeiten für Arbeitsobjekte in einer Kostenstelle mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung 117

1. Determinanten der Werkstattstruktur 117

2. Die Ermittlungsmethode 119

3. Ergebnis und Schlußfolgerungen 120

IV. Die Ergebnisse von Wahrscheinlichkeitsfunktionen als Parameter bei der Optimierung von Werkstattbeständen 128

1. Die Anwendungsmöglichkeit der Ergebnisse und ihr Gültigkeitsbereich 128

2. Die Anwendung der Ergebnisse in der Fließ-Fertigung 133

3. Die Anwendung der Ergebnisse in der Einzel- und Serienfertigung 137

E. Zusammenfassung und Schluß 150

F. Anhang 157

Literaturverzeichnis 165

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552705_0007

A. Einleitung

I. Einige Bemerkungen zum Wahrscheinlichkeitsbegriff

Das Vordringen statistischer Methoden und der Wahrscheinlichkeitsrechnung in alle Bereiche der Wirtschaftswissenschaften macht es notwendig, den Begriff der Wahrscheinlichkeit für die jeweiligen Verwendungsbereiche präzise zu klassifizieren. In der Umgangssprache steht die Wahrscheinlichkeit im allgemeinen an Stelle einer angestrebten Wahrheit, die aus irgendwelchen Gründen nicht näher beweisbar ist.[1] Wahrscheinlich ist ein Ereignis dann, wenn Ungewissheit über dessen Eintreten oder Nichteintreten vorliegt: "jede Wahrscheinlichkeit liegt auf einem Wege zwischen Unmöglichkeit und Gewissheit".[2]

Der Wunsch, dieser Ungewissheit einen quantitativen Wert aus der Anzahl der für ein Ereignis günstigen und ungünstigen Fälle zuzuordnen, führte schon früh zu Häufigkeitsuntersuchungen. So soll bereits 1477 in einem in Venedig gedruckten Kommentar zu Dante's Göttlicher Komödie eine Häufigkeitsanalyse der möglichen Würfe mit drei Würfeln zu finden sein.[3] Pascal und Fermat sind als eigentliche Begründer der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu nennen [4], obwohl einige Autoren als Vorläufer sich bereits mit diesem Thema befassten. Das erste bahnbrechende Werk der Wahrscheinlichkeitsrechnung entstand in Bernoullis "Ars conjectandi" mit dem bedeutenden Theorem des IV. Teiles [5].

---

1) "Über die Wahrscheinlichkeit können wir nur sagen, dass sie ein niedrigerer Grad des vernunftmässigen Fürwahrhaltens als die Gewissheit ist, oder dass sie Grade der Gewissheit betrifft."
Keynes =Wahrscheinlichkeit= 11.
2) Keynes =Wahrscheinlichkeit= 27.
3) Zitiert nach den Anmerkungen zu Teil II Bernoulli =Ars conjectandi= 134.
4) Cantor =Historische Notizen= 359.
5) Bernoulli =Ars conjectandi IV= 104 - 105 (Hier entwickelt Bernoulli das Gesetz der grossen Zahlen).

"Obgleich dieses Verfahren [1] zwar in so weit der mathematischen Spekulation angehört, als in ihm die Rechnung verwendet wird, so ist es doch hinsichtlich seines Nutzens und seiner Unentbehrlichkeit ganz universell und so beschaffen, dass ohne dasselbe weder die Weisheit des Philosophen, noch die Genauigkeit des Historikers, noch die Diagnose des Arztes, noch die Klugheit des Politikers bestehen kann. Als Argument hierfür sei nur gesagt, dass ihrer aller Tätigkeit auf Vermutungen sich stützt, und dass jede Vermutung auf Kombinationen der wirkenden Ursachen beruht." [2]

Das Theorem von Bernoulli wurde von Moivre und Laplace weiterentwickelt. Im 19. Jahrhundert schuf Gauss die Fehlerrechnung, die als "Methode der kleinsten Quadrate" bekannt geworden ist.[3] Poisson erweiterte die Sätze von Moivre-Laplace, die sich auf das Bernoulli-Theorem beziehen und gewann die Poisson-Verteilung. In den darauf folgenden Jahren wurde die Wahrscheinlichkeitsrechnung von einer Anzahl bedeutender Mathematiker vorangetrieben.[4] Daniel Bernoulli wandte die Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Nationalökonomie an. Er fand ein quantitatives Gesetz zur Unterscheidung eines gewonnenen Geldbetrages zu seinem Nutzwert [5], das als Grundlage der modernen Werttheorie gilt und in seiner komparativen Form als Gesetz vom abnehmenden Grenznutzen formuliert wird.

---

1) Gemeint ist die Permutations- und Kombinationslehre (d. Verf.).
2) Bernoulli =Ars conjectandi II= 77.
3) Vgl. dazu Cantor =Historische Notizen= 365.
4) Eine weitergehende historische Betrachtung findet sich bei Gnedenko =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 365 ff, ergänzt durch Anderson =Probleme= 96 - 100.
5) Bernoulli, D. =Specimen= , zitiert nach Carnap/Stegmüller 124 - 126.

Die Wahrscheinlichkeitstheorie in ihrer mathematischen Ausprägung (beziehungsweise die Lehre von den Häufigkeitsverteilungen) ist heute ein wichtiges Hilfsmittel der Wirtschaftswissenschaften. Die Probleme der Ablauforganisation, Fragen der statistischen Qualitätskontrolle, die Bildung von stochastischen Modellen oder die Aussagen der induktiven Logik sind ohne die durch Wahrscheinlichkeitsrechnung gewonnenen Aussagen nicht denkbar. Wegen ihrer Bedeutung für die Auslegung des Begriffes der Wahrscheinlichkeit sollen die beiden wesentlichen Wahrscheinlichkeitsdefinitionen kurz gegenübergestellt werden. Es sind dies

1.) Die klassische Definition der Wahrscheinlichkeit, und
2) Die axiomatische Definition der Wahrscheinlichkeit.

Die klassische Definition der Wahrscheinlichkeit führt den Wahrscheinlichkeitsbegriff auf die Gleichmöglichkeit des Eintretens aller Ereignisse zurück. Gleichmögliche Fälle sind nach Laplace[1] alle Fälle, "über deren Dasein wir in gleicher Unwissenheit sind" beziehungsweise "man habe keinen Grund zu glauben, einer der Fälle werde eher eintreten als der andere."[2]
Das heisst "dass die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Ereignisses gleich ist dem Verhältnis der Zahl der für das betreffende Ereignis günstigen (und) gleichwahrscheinlichen Ergebnisse zur Gesamtzahl der gleichwahrscheinlichen Ergebnisse."[3]

Wenn sich also ein Ereignis A in m Teilergebnisse zerlegen lässt, die alle zu einer vollständigen Gruppe von n paarweise unvereinbaren und gleichmöglichen Ereignissen gehören, dann ist die Wahrscheinlichkeit P(A) des Ereig-

---

1) Laplace =Théorie analytique= 178 - 179.
2) Vgl. dazu Laplace =Wahrscheinlichkeit= 3 ff.
3) Jaglom/Jaglom =Wahrscheinlichkeit= 15.

nisses A

$$P(A) = \frac{m}{n}.$$

Die Gleichmöglichkeit der Ereignisse als objektive Eigenschaft wird seither heftiger Kritik unterzogen.[1] Haupteinwand gegen die klassische Auffassung ist, dass eine Zahl der "möglichen Fälle" alle in der Gesamtheit möglichen Fälle umfassen muss. Eine hierauf anzuwendende Definition der "Gleichmöglichkeit" könne von der klassischen Theorie her nicht gegeben werden und ende in einem circulus vitiosus, denn Gleichmöglichkeit sei auch Gleichwahrscheinlichkeit.[2]

Die Verfechter der klassischen Theorie sehen diese Schwierigkeit ebenfalls und versuchen, sie durch eine Begrenzung der "Gesamtheit aller möglichen Fälle" zu umgehen. Das führt zu dem Prinzip des mangelnden Grundes und der Spielraumtheorie von v. Kries.[3]

Eine philosophische Begründung für die Berechtigung der Gleichmöglichkeit aller Fälle wird aus dem Naturgeschehen hergeleitet, in dem der Systemablauf nach ordnungsneutralen Kausalgesetzen ausgerichtet ist und die völlige Freiheit der Systemkombinationen zulässt.

> "Für sämtliche Gebiete des Weltgeschehens gelten die Wahrscheinlichkeitsgesetze als die Gesetze der ordnungslosen Aufeinanderfolge mit Gleichverteilung aller Möglichkeiten."[4]

---

1) Eine eingehende Untersuchung dazu unternimmt Nolfi =Idee= 107 ff.
Weitere Darstellungen bei Anderson =Probleme= 97 ff, Jecklin =Historisches= 5 ff; Gnedenko =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 11 ff.
Vgl. dazu auch Reichenbach =Wahrscheinlichkeitslehre= 5 ff., Keynes =Wahrscheinlichkeit= 61 ff.
2) v.d. Waerden =Begriff= 65.
3) Vgl. dazu Nolfi =Idee= 119 ff.
4) Erisman =Wahrscheinlichkeit= 215.

Der Wunsch nach einer formal-logischen Konstruktion der Wahrscheinlichkeitsrechnung führte zu ihrem axiomatischen Aufbau. [1]

Neben verschiedenen anderen Axiomensystemen ist das von Kolmogoroff entwickelte System am bekanntesten. Es bildet die Grundlage der modernen Wahrscheinlichkeitsrechnung. Ihr Prinzip sei kurz skizziert:

Auf der Grundlage einer Verbindung des Wahrscheinlichkeitsbegriffes mit der Mengenlehre und der Funktionentheorie wird die Wahrscheinlichkeitsrechnung formallogisch begründet. [2] Der Ausgangspunkt ist eine abstrakte Menge E von elementaren Ereignissen A_1, A_2.....A_n. Diese sind ihrerseits Elemente eines Ereignisfeldes F. Die Elemente des Ereignisfeldes F heißen zufällige Ereignisse. Die Struktur des Ereignisfeldes F wird durch drei Bedingungen formiert: (1) F enthält als Element die Menge aller Elementarereignisse, (2) F enthält die leere Menge als Komplement zu E und (3) mit den zufälligen Ereignissen A und B als Teilmengen von E auch die Ereignisse $A \cup B$, $A \cap B$, $\overline{A}$, $\overline{B}$ [3]. Daraus folgen die Axiome: (I) jedem zufälligen Ereignis A aus dem Ereignisfeld F entspricht eine Wahrscheinlichkeit P(A) mit der Ungleichung $0 \leq P(A) \leq 1$, (II) die Wahrscheinlichkeit des sicheren Ereignisses ist = 1 und (III) die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses A_1 oder A_2 ist gleich der Summe der Einzelwahrscheinlichkeiten, wenn diese paarweise unvereinbar sind. [4]

Da die vollständige Menge aller Elementarereignisse definierbar ist, folgt daraus ihre Anwendbarkeit auf beliebige Grundgesamtheiten, soweit diese in der Gesamt-

---

1) Vgl. dazu auch Nolfi =Idee= 162 ff.
2) Gnedenko =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 40
3) Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 6 ff.
   Gnedenko =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 41
4) Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 12
   Gnedenko =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 42.

menge definiert werden können.[1] Das erweitert den Anwendungsbereich auch auf die häufig unstabilen und auf geringen Zahlenmengen beruhenden Grundgesamtheiten, die in der Betriebswirtschaft auftreten.

Die sogenante mathematische Wahrscheinlichkeit wurde bisher nur wenig auf betriebswirtschaftliche Probleme der Ablauforganisation angewendet. Das mag nicht zuletzt daran liegen, dass ein Konglomerat aus zahlreichen und nicht mit letzter Sicherheit bestimmbaren Faktoren bei der Ermittlung der statistischen Ereignishäufigkeiten zu komplizierten mathematischen Wahrscheinlichkeitsfunktionen führt. Ihre Berechnung ist ohne die Hilfe datenverarbeitender Anlagen zeitraubend und mühsam. Als weitere Schwierigkeit tritt hinzu, dass häufig Vergleichsmöglichkeiten mit gleichartigen Problemstellungen fehlen und keine ausreichenden Erfahrungen verfügbar sind,[2] die als Richtschnur dienen könnten. Zwar liegen in vielen Fällen bei betrieblichen Ablaufprozessen Wahrscheinlichkeitswerte aus historischen Abläufen ähnlicher Art und Struktur vor, aber im Bereich der unternehmerischen Entscheidung mit ihren oft weitreichenden Vorausbestimmungen und den daraus resultierenden Folgen fehlt meist die Möglichkeit, sich an früher aufgetretenen ähnlichen Strukturen zu orientieren. Hier bleibt ein rational nicht mehr erfassbarer Bereich, dessen Bestimmungsgrößen nur durch Wahrscheinlichkeitswerte ausgedrückt werden können.[3]

---

1) Vgl. Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 5
2) Vgl. dazu auch Morgenstern =Genauigkeit= insbes. 116.
3) Vgl. dazu Kosiol =Wesen und Sinn= 1 und Morgenstern =Genauigkeit= 118 ff.

II. Wahrscheinlichkeit und unternehmerische Entscheidung

Entscheidung ist die Auswahl einer Handlungsalternative zum Erreichen eines gewünschten Erfolges. Handlungsalternativen stehen in einer dualen Beziehung zueinander: sie können in einem Tun oder Unterlassen bestehen. Die einfachste Form einer Entscheidung liegt vor, wenn nur eine duale Handlungsalternative zur Auswahl steht und die Information über die Konsequenzen der Entscheidung auf Grund einer einzigen notwendigen und vorliegenden Hypothese, die ihrerseits durch ein bestehendes Gesetz voll bestätigt wird, vollkommen ist.

Für die wirtschaftliche Entscheidung stellt diese Form einer dualen Handlungsalternative einen Ausnahmefall dar. Im allgemeinen steht eine Vielzahl dualer Handlungsalternativen zur Auswahl, deren Interdependenz oft nicht mehr überschaubar ist.[1] Die Fülle der benötigten Informationen wächst mit der Zahl der möglichen Hypothesen. Diese Problematik führt zur Aggregation und Zusammenfassung zu grösseren Ganzheiten sowie zur isolierenden Abstraktion und Modellbildung.

Der unternehmerischen Entscheidung geht die Formulierung des gewünschten Erfolges voran. Die zum Erreichen des Erfolges notwendigen Mittel und Methoden sind Gegenstand der Planung.

> "Sinn der Planung ist es, künftige Vorgänge gedanklich vorwegzunehmen. Zentrales Problem der Planung ist die Ungewissheit ihrer Daten, die sich auf das zukünftige Geschehen beziehen."[2]

---

1) Jede Handlung läßt sich in Handlungselemente zerlegen, die nur noch einer ja - nein - Entscheidung unterliegen und damit eine duale Alternative bilden.
2) Kosiol »Wesen und Sinn« 1.

Die gedankliche Vorwegnahme betrifft zwei Hauptgruppen künftiger Vorgänge:

a) Vorgänge, die aus einem unmittelbar auf die Auswahl der Handlungsalternative (Entscheidung) eingetretenen Erfolg resultieren, und
b) Vorgänge, die von dem Zeitpunkt der Entscheidung an bis zum Eintreten des Erfolges auftreten können und einen Einfluss auf den Erfolg selber haben. Der Einfluss kann im Sinne des Erfolges positiv oder negativ sein.

Die für diese beiden Typen von Vorgängen notwendige Planung bedarf unterschiedlicher Modelle: Für den ersten Typ geht der Erfolg als konstante Grösse in das Modell ein, die Modellkonstruktion erhält einen deterministischen Charakter.[1] Der Vorgang (die Aktivität), der unmittelbar vom Erfolg ausgelöst wird, ist mit Sicherheit bestimmbar, der Informationsgrad über diesen Vorgang ist in fast allen Fällen 1 oder nahezu 1. Ein einfaches Beispiel möge dies demonstrieren:

Klingeln an einer Haustür

Duale Handlungsalternative:
Klingelknopf drücken - nicht drücken

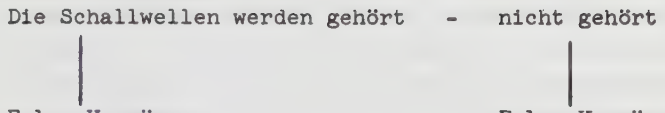
Erfolg:
Durch Schliessen eines Kontaktes wird ein Klöppel mittels elektromagnetischer Kräfte gegen eine Klangschale geschlagen

Unmittelbarer Vorgang:
Schallwellen breiten sich im Raum aus

---

1) Vgl. dazu auch Kosiol =Modellanalyse= 323.

Sekundäre Vorgänge:



Sekundäre Vorgänge haben für den die Handlungsalternative Auswählenden bereits einen geringeren Informationsgrad. Mit zunehmender Entfernung vom eingetretenen Erfolg nimmt die Zahl der sekundären Vorgänge zu und die Information über das Eintreten dieser Vorgänge ab. Sollen die (möglichen) sekundären Vorgänge Rückkoppelungswirkung auf die duale Handlungsalternative haben, dann ist es notwendig, diesen sekundären Vorgangsfolgen einen (Präferenz-)Wert zuzuordnen und sie mit einem Wahrscheinlichkeitsgrad für das Eintreten zu versehen. Aus der Wertezuordnung für den Vorgang und dem Hinzufügen einer Wahrscheinlichkeit für dessen Eintreten ergibt sich ein Mass für die Rückkopplungswirkung auf die duale Handlungsalternative.[1)] Bei dieser Modellkonstruktion kann eine Vielzahl von dualen Handlungsalternativen nebeneinander stehen.

---

1) Das Ordnen möglicher sekundärer Vorgänge nach ihrer Bedeutung für die Entscheidung und das Zuweisen einer Wahrscheinlichkeit für das Eintreten dieser Vorgänge ist nicht gleichzusetzen mit dem Einfluss dieser Vorgänge auf die Entscheidung selber. So wird zum Beispiel die Auswahl der Handlungsalternative "Preis senken" den unmittelbaren Erfolg der "Auftragserteilung" haben. Sekundäre Vorgänge können in dieser Folge auftreten: das Auftragsvolumen vergrössert sich - das Konkurrenzunternehmen erfährt davon - das Konkurrenzunternehmen senkt seinerseits den Preis - es senkt ihn unter die jetzt gültige Grenze - der Kunde wandert zur Konkurrenz ab. Für alle diese Folgevorgänge muss für die Möglichkeit ihres Eintretens eine gewisse Wahrscheinlichkeit angesetzt werden. Diese Wahrscheinlichkeit kann auch mittels induktiver Schlussfolgerung gewonnen werden: Die Hypothese, dass das Konkurrenzunternehmen bei dieser Sachlage den Preis senkt, wird durch ein empirisches Wissen mit einer Wahrscheinlichkeit von x % gestützt. In dieser Weise werden alle möglichen Folgevorgänge behandelt und geordnet und bilden dann in ihrer Gesamtheit das Informationsspektrum, das zur Entscheidung mit herangezogen wird. Das heisst, Präferenz und Wahrscheinlichkeit des Eintretens bilden die zu berücksichtigenden Einflussfaktoren.

Die zweite Hauptgruppe künftiger Vorgänge betrifft nur eine duale Handlungsalternative. Es müssen hierbei Vorgänge vorweggenommen werden, die nicht aus dem Erfolg der Entscheidung herrühren, sondern im Zeitablauf bis zum Eintreten des Erfolges durch Art, Dauer und Intensität ihres Auftretens den Erfolg beeinflussen. Diese Art der Planung ist weitaus schwieriger, weil hierbei die Präferenzskala in der Wertezuordnung für die zu erwartenden Vorgänge durch die Ergänzung mit einer Wahrscheinlichkeit für ihr Eintreten den Erfolg aus der Auswahl der dualen Handlungsalternative unmittelbar beeinflusst. So sind zum Beispiel für die duale Handlungsalternative

Investieren - nicht investieren

die künftigen Vorgänge aus

Marktsituation
Technischer Veränderung
Konkurrenzverhalten
Kostenstruktur usw.

zu analysieren, in die Präferenzskala einzuordnen und mit der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens zu versehen. Diese Modellkonstruktion erhält stochastischen Charakter: Das Eintreten und der Umfang des Erfolges hängen von im Zeitablauf sich verändernden Daten ab.

Sowohl für die Sekundärvorgänge der ersten Hauptgruppe als auch für die Vorgänge der zweiten Hauptgruppe können Wahrscheinlichkeitswerte aus historischen Abläufen ähnlicher Art und Struktur vorliegen. Sie können dann als Plandaten angesehen und in den Entscheidungsrahmen aufgenommen werden. Häufig liegen jedoch keine Werte aus vergleichbaren Strukturen vor. Dann muss das mangelnde Wissen um die Zukunftswerte durch die Erwartung ihres Vorhanden- oder Nichtvorhandenseins ersetzt werden. Sie gehen dann ebenfalls als Wahrscheinlichkeitsaussagen in den Entscheidungsrahmen ein.

Diese Form der Konstruktion von Modellen für die Entscheidungsfindung enthält schon die ganze Skala der Fehlermöglichkeiten. Die Auswahl von Beobachtungen und Daten erfordert bereits eine Vorinformation über die Beobachtungen und Daten, die in zahlreichen Fällen zu einer wachsenden Pyramide von Vorinformationen führt und deshalb (oder auch aus Unkenntnis) an einer bestimmten, für das rationale Denken noch vertretbaren Stelle abgeschnitten werden muss. Durch Beobachtungen und Daten, die einem Verteilungsgesetz folgen, werden die aus dem Modell zu entnehmenden Ergebnisse vieldeutig und folgen selber einem Verteilungsgesetz. Das Einsetzen der mathematischen Erwartungswerte aus statistischen Reihen mit Angabe ihrer Streuung schränkt zwar die Zahl möglicher Modellergebnisse ein, dennoch bleibt ihr Informationsgehalt mehrdeutig und wahrscheinlichkeitsbehaftet.

Das Modell gibt eine oder auch mehrere Informationen über einen Systemzusammenhang, der aus dem in das Modell eingehenden Koeffizientensystem gebildet wird. Mit diesen Informationen werden unter Hinzufügung von gedanklichen Verbindungen oder Ergänzungen Hypothesen für die vorläufige Erklärung einer Tatsache oder Tatsachengruppe aufgestellt. Solche Hypothesen können, gleichgültig ob sie ein- oder mehrdeutig sind, mit Hilfe von Tests überprüft werden.[1] Auch hier kann sich eine Anzahl systembedingter und zufälliger Fehler einschleichen.

So bleibt zwischen Modellergebnis und Wirklichkeit eine Lücke. Die Modellergebnisse sind einer (subjektiven) Schätzung ihres Wahrheitsgehaltes unterworfen und bekommen damit einen Wahrscheinlichkeitscharakter. Die Auswahl der Handlungsalternativen muss nach Wahrscheinlichkeits-

---

1) Vgl. dazu Anderson =Probleme= 229 ff.
Wallis =Statistik= 322 ff, 340, 341.
Angermann =Entscheidungsmodelle= 21 - 22.

kriterien erfolgen, wobei diejenigen mit dem grössten Wahrscheinlichkeitsgrad vorrangig berücksichtigt werden.

Je geringer der durch ein empirisches Tatsachenwissen gesicherte Informationsgrad ist, um so mehr müssen für die Entscheidung Schätzungen von Einflussgrössen herangezogen werden: man gelangt zu einem System des wahrscheinlichen Folgerns. Dieses System löst sich von den numerischen Beschreibungsmethoden und bedient sich der induktiven Logik, wobei unter Logik allgemein die einer Sprache formal zugrunde gelegte semantisch-syntaktische Struktur verstanden werden soll. Das Loslösen der Struktur von der rein mathematischen Konzeption fordert zwangsläufig die Erklärung eines induktiven Wahrscheinlichkeitsbegriffes, der von einem mathematischen Wahrscheinlichkeitsbegriff streng zu trennen ist.

In Carnap's System der induktiven Logik [1] werden diese Wahrscheinlichkeiten mit Wahrscheinlichkeit$_1$ beziehungsweise induktiver Wahrscheinlichkeit, und Wahrscheinlichkeit$_2$ oder statistischer Wahrscheinlichkeit bezeichnet. Die induktive Wahrscheinlichkeit stellt hierbei nur eine Beziehung zwischen einer Hypothese und bestimmten Erfahrungsdaten her. Als stärkster Ausdruck wird eine quantitative Masszahl für den Grad der Bestätigung der Hypothese durch die Erfahrungsdaten gesucht. Ziel ist das Aufstellen eines Satzes von der Form: Der Bestätigungsgrad einer Hypothese h auf Grund des Erfahrungswissens e ist = q c(h,e) = q . Die induktive Logik hat dabei die

---

1) Carnap-Stegmüller =Induktive Logik=
Für eine kurze Zusammenfassung des Systems der induktiven Logik vgl. Stegmüller =Gegenwartsströmungen= 457 - 468.
Weitere Literatur zur induktiven Logik:
Carnap =Logical foundations=
Carnap =The Continuum=
Carnap =Einführung=
Stegmüller =Semantik=

Aufgabe, die Prinzipien der induktiven Schlussfolgerungen zu formulieren und in die Gestalt exakter Regeln zu kleiden, sowie präzise Explikationen für den Begriff der induktiven Bestätigung als Schätzwert der relativen Häufigkeit aufzustellen.

Die induktive Logik formuliert die wahrscheinlichkeitstheoretischen Beziehungen zwischen Sätzen, Satzklassen und Aussageklassen. Den mit ihrer Hilfe gewonnenen induktiven Schlussfolgerungen ist gemeinsam, dass sie sich mit partiell-deduktiven Ableitungsbeziehungen begnügen müssen. [1] Solange jedoch die Trennung der induktiven Wahrscheinlichkeit von der statistischen Wahrscheinlichkeit beachtet wird, kann diese Methode ein weiteres Hilfsmittel zur Bewertung von Hypothesen sein.

Wahrscheinlichkeit und unternehmerische Entscheidung stehen in enger Wechselbeziehung zueinander. Je grösser der Umfang an Informationen wird, deren Inhalt mit Wahrscheinlichkeitswerten behaftet ist, umso mehr muss die Bereitschaft zum Risiko wachsen. Der für eine Entscheidung zu berücksichtigende und formal nicht mehr erfassbare Einflussbereich mit seinen Daten ist nur durch eine subjektive Schätzung der statistischen Wahrscheinlichkeit seiner Grössen zu überbrücken. Die aus der Subjektivität resultierende Streuung der Schätzwerte [2] kann mit den Methoden der induktiven Logik begrenzt werden:

> "Die grundlegende Tatsache, welche die induktive Logik nützlich, ja sogar zu einer Notwendigkeit macht, wenn wir zu vernünftigen Entscheidungen gelangen wollen, ist die

---

1) Carnap-Stegmüller =Induktive Logik= 8.
2) Vgl. dazu auch Gutenberg =Unternehmensführung= 64.

> Unmöglichkeit, die Zukunft mit Sicherheit zu kennen. Jeder Mensch muss seine Entschlüsse auf Erwartungen kommender Ereignisse stützen, die von seinem Handeln unabhängig sind, und ebenso auf Ereignisse, die als Folge gewisser eigener Handlungen, zu deren Ausführung er sich vielleicht entschliessen wird, geschehen könnten. Für beiderlei Erwartungen besitzt er keine Sicherheiten, nur Wahrscheinlichkeiten. Und wenn sein Handeln vernünftig sein soll, muss es durch diese Wahrscheinlichkeiten bestimmt werden." [1)]

Die vorliegende Arbeit unternimmt den Versuch, die Verwendung des Wahrscheinlichkeitsbegriffes und die Anwendungsmöglichkeit der Wahrscheinlichkeitsrechnung in der industriellen Unternehmung näher zu untersuchen.

---

1) Carnap-Stegmüller =Induktive Logik= 101.

III. Zufall und Wahrscheinlichkeit

Bei der Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf statistische Zahlenfolgen in der Unternehmung spielt der Zufall eine bedeutende Rolle. Durch die Beobachtung von Häufigkeiten werden die Gesetzmässigkeiten zufälliger Ereignisse untersucht mit einer Schlussfolgerung auf die Gültigkeit dieser Gesetzmässigkeiten für alle denkbaren oder vorhandenen Ereignisse dieser Reihe (Grundgesamtheit) [1]. Die Abbildung von zufälligen Ereignissen auf die Menge der reellen Zahlen führt zum Begriff der Zufallsgrösse und ihrer Realisationen.

Entstammen die Zahlenwerte von Zufallsgrössen einem zufälligen Prozess, dann führt ihre Anwendung zu einer messbaren Unsicherheit. Diese liegt vor, wenn jedem der verschiedenen Ereignisse eines Aktionskurses, einer Entscheidung oder eines Ablaufes eine ganz bestimmte, numerisch ausgedrückte, objektiv, empirisch und statistisch ermittelte Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden kann. [2]

Eine nicht messbare Unsicherheit liegt dagegen vor, wenn die Wahrscheinlichkeit des Eintretens verschiedener und möglicher Ereignisse nicht bekannt ist und keine oder nur ungenügende Erfahrungen darüber vorliegen; das Auftreten des Ereignisses ist ein Zufall.

Die häufig synonyme Verwendung von Zufall und Wahrscheinlichkeit macht es notwendig, beide Begriffe voneinander abzugrenzen.

---

1) Vgl. dazu Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 275
   Anderson =Probleme= 229 ff.
   Pfanzagl =Methodenlehre= I, 144 ff.
2) Agthe =Probleme= 100 ff.

Unter Zufall wird im allgemeinen Sprachgebrauch das Eintreten unbeabsichtigter und unvorhergesehener Ereignisse, insbesondere ihr unvorhergesehenes Zusammentreffen mit anderen Ereignissen verstanden. Zufällig ist das Eintreten eines Ereignisses auch dann, wenn die zu seinem Eintreten führenden Ursachenreihen nur teilweise unvorhergesehen und unbekannt sind.[1)]

In der Philosophie wird das Postulat des Zufälligen immer mit einer bestimmten Kausalität ergänzt. Jeder Vorgang kann Wirkung einer Kausalreihe sein, die ihrerseits ihre Kausalzusammenhänge im Weltgefüge hat. Die Bezeichnung eines Ereignisses als Zufall kann demnach relativ sein: es ist nur dann zufällig, wenn ein ursprünglicher Kausalzusammenhang unbekannt ist oder bleibt, der zum Eintritt des Ereignisses genau zu diesem Zeitpunkt führte und zu keinem anderen.

Um den Zufallsbegriff in eine mathematische Kategorie einzuordnen, müssen bestimmte mathematische Voraussetzungen getroffen werden.

Es liegen immer dann zufallsabhängige oder auch stochastische[2)] Prozesse vor, wenn in ihnen eine Variable nachgewiesen oder vorausgesetzt werden kann, die selbst wiederum verschiedene Werte mit den ihr zukommenden Wahrscheinlichkeiten annehmen kann. Jeder stochastische Prozess entwickelt sich in der Zeit und wird dabei fortwährend von zufälligen Faktoren beeinflusst.[3)] Je nachdem, ob gewisse

---

1) Anderson =Probleme= 92.
2) Zur sprachlichen Herleitung des Begriffes stochastisch vgl. Anderson =Probleme= 91.
3) Cramér =Wahrscheinlichkeit= 9.
Zum Begriff der stochastischen Prozesse vgl. auch
Dynkin =Markoffprozesse=
Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 228 ff.
Gnedenko =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 258 ff.
Krickeberg =Wahrscheinlichkeitstheorie= 86 ff.
Weber =Grundriss= 11 ff.

diskrete Zeitpunkte aus dem gesamten Prozessverlauf herausgegriffen werden oder ob der Gesamtablauf zeitlich in seiner Stetigkeit betrachtet wird, nennt man ihn eine stochastische Kette oder einen stochastischen Prozess im engeren Sinn.[1)]

Mathematisch wird unter einem zufallsabhängigen oder stochastischen Prozess eine Familie von Zufallsgrössen $\xi(t)$ verstanden, die von einem Parameter t abhängt, wobei t aus einer zunächst beliebigen Menge z stammen kann. Diesen Prozess nennt man einen Prozess mit einem diskreten Parameter, wenn die Menge z aus einer Zahl endlicher, abzählbarer Veränderlicher besteht. Ist die Menge Z die Menge der reellen Zahlen oder ein Intervall, wird der Prozess als Prozess mit einem stetigen Parameter bezeichnet.

Stationäre Zufallsprozesse treten auf, wenn die Verteilung der Zufallsgrössen nicht von der Zeit abhängig ist. Dabei ist es nicht erforderlich, dass sich die charakteristischen Zufallsgrössen überhaupt nicht ändern, sondern es genügt, dass sie während der ganzen Beobachtungszeit und während eines abschliessenden Zeitintervalles, der zum Abklingen des Übergangsvorganges ausreicht, konstant bleiben.

> "Es ist wohl ein charakteristischer Zug der Entwicklung, dass auf vielen Gebieten immer mehr mit dem 'Zufall' als wesentliches Element aller Beobachtungen und Überlegungen gerechnet werden muss. In manchen Fällen entsteht ein kompliziertes Zusammenspiel von kausalen Ursachen und zufälligen Faktoren. Die Untersuchung dieser zufälligen

---

1) Ferschl =Wirtschaftsprozesse= 28.

Faktoren, ihre Präparierung, das Kennenlernen ihrer Struktur und Eigenschaften, das Trennen von der kausalen Ursachenkette ist Aufgabe der Wahrscheinlichkeitstheorie." [1]

Der axiomatische Wahrscheinlichkeitsbegriff bezieht seine Axiome, wie oben ausgeführt, aus der Mengenlehre und der Funktionentheorie. Unter Mengen versteht man aber jede Zusammenfassung E von bestimmten, wohlunterschiedenen Objekten e der Anschauung oder des Denkens, die die Elemente von E genannt und zu einem Ganzen gefügt sind. Dieser erstmals von Cantor [2] verwendete Begriff wird in der axiomatischen Mengenlehre im Rahmen der Prädikatenlogik präzisiert. Mit mengentheoretischen Beziehungen wird der Begriff der Relation geformt, der wiederum Grundbeziehungen für die Funktionenbeschreibungen (Abbildungen) gibt. Mengen, Relationen und Abbildungen sind ihrerseits Kernelemente für eine allgemeine mathematische Strukturtheorie. [3]

In diese Strukturen sind auch die Verteilungsgesetze der Wahrscheinlichkeit eingebettet. Zufallsereignisse, die diesen Verteilungsgesetzen gehorchen, werden durch eine Struktur geordnet, sie werden strukturiert.

---

1) Cramér =Wahrscheinlichkeit= 2.
2) Cantor =Beiträge=.
3) Vgl. dazu Bourbaki =Éléments= Hier wird die Mathematik nach Grundstrukturen eingeteilt.

Hieraus lässt sich eine Abgrenzung von Zufall und Wahrscheinlichkeit herleiten: Entsprechen zufällige Ereignisse den oben aufgeführten Voraussetzungen, dann liegt eine Wahrscheinlichkeitsstruktur vor. [1] Die Anwendung von Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung ist erkenntnistheoretisch gerechtfertigt. Struktur als "gefügehafte Ordnung" [2] ist jedoch auch Merkmal der Organisation. Mit ihr werden Ganzheiten (Ereignisse) unter gegenseitiger Abstimmung sinnvoll geordnet und auf einen übergeordneten Zweck aus gerichtet. Das setzt allerdings voraus, dass die einer Organisation zu unterwerfenden Ganzheiten (Ereignisse) bekannt sind oder ihr Vorhandensein sinnvoll vorausgesetzt werden kann.

Ein zufälliges Ereignis kann wegen seines häufig nur einmaligen, aber in jedem Fall unvorhergesehenen Auftretens in ein zutreffendes Wahrscheinlichkeitsgesetz nicht eingeordnet werden. Der Zufall ist nicht strukturierbar.

Tritt das einer gleichen Kausalkette entstammende zufällige Ereignis häufiger auf, erhält man Zufallsordnungen. Der Zufall wird einordenbar. [3] Einordnen heisst in diesem Zusammenhang: Ordnen der zufälligen Ereignisse durch eine Wahrscheinlichkeitsstruktur. Die Wahrscheinlichkeitsstruktur wird durch ein Verteilungsgesetz repräsentiert. Das heisst: Wird das aus einer Grundgesamtheit oder aus einer Stichprobe

---

1) Das gilt dann auch für die abgeleiteten Einflussgrössen zweiter Ordnung.
Vgl. S. 64 ff.
2) Kosiol =Organisation= 21.
3) Keiter =Grundformen= 755.

stammende mehrmalige Auftreten eines zufälligen Ereignisses durch ein Verteilungsgesetz geordnet, so entspricht diese Ordnung den Anforderungen der Organisation. Die Ordnung sich wiederholender zufälliger Ereignisse durch ein Verteilungsgesetz der Wahrscheinlichkeit erlaubt nunmehr deren Einbeziehung in die raum-zeitliche Gestaltung der industriellen Ablauforganisation.

IV. Abgrenzung des Themas und Problemstellung

Mit dem verstärkten Einsatz elektronischer Datenverarbeitungs- und Rechenanlagen versuchen die Unternehmungen, auch die Probleme der Ablaufplanung und Ablaufsteuerung der Produktion besser zu beherrschen. Die Verwendung der modernen Rechengeräte erfolgt nicht nur aus der Notwendigkeit heraus, eine fast unübersehbare Fülle von Informationen, die das genannte Gebiet betreffen, zu speichern und in einer programmierten Systematik wiederzugeben. Darüber hinaus sollen mit der immer umfangreicheren Anwendung mathematischer Methoden die Formalziele in allen Teilbereichen der Unternehmung und damit in der Gesamtunternehmung erreicht werden. Unter Formalziel wird hier die optimale Wirtschaftlichkeit aller Leistungsvorgänge, begleitet von einer ständigen Liquidität der Unternehmung verstanden. [1] Die Gestaltung der Leistungsvorgänge und deren Wirkung auf die Zahlungsbereitschaft der Unternehmung ist durch das Streben nach einer subjektiven Bestlösung bestimmt.

Trotz der engen Verflochtenheit der beiden Komponenten wird häufig bei der Untersuchung und Gestaltung der Leistungsvorgänge der optimalen Wirtschaftlichkeit in einer isolierenden Betrachtung der Vorrang eingeräumt. Die pagatorischen Vorgänge treten dabei in den Hintergrund. Der gütermässige Erzeugungsprozess in der Realgüterphase dominiert und deckt die ihn begleitenden nominalen Geldbewegungen zu. [2] Die Vernachlässigung der pagatorischen Komponente als Nebenbedingung bei der Formulierung mathematischer Modelle der Arbeitsprozeßstrukturierung schränkt deren Erfolg im Sinn des oben formulierten Formalzieles ein.

---

1) Kosiol =Wesen und Sinn= 1.
2) Vgl. dazu Kosiol =Bilanzreform= 43, insbesondere Kosiol =Kostenrechnung= 146, 147.

Diese Problematik wird deutlich am Beispiel der Losgrössenformel. In ihr werden durch die Unterstellung einer zeitlosen Produktion die Probleme der Prozessgliederung in der Transformationsphase eliminiert. So steht häufig einem Abbau der Lagerbestände in der Vor- oder Nachlagerungsphase eine Erhöhung der Bestände an unvollendeter Produktion in der Form von organisatorischen Lagern gegenüber.[1] Der messbare Erfolg einer (wertmässigen) Bestandssenkung wird durch den zum Aufwand gewordenen, noch nicht erfolgswirksamen und als Vorratsausgabe pagatorischen Charakter tragenden Gütereinsatz in der Transformationsphase teilweise kompensiert.

Wird jedoch die Forderung jeder Ablaufplanung nach kürzesten Durchlaufzeiten der Arbeitsobjekte erweitert um die Forderung auf Minimierung der Sachgüter-Bestände in der gesamten Transformationsphase einschliesslich diesen evtl. zuzuordnender Vor-, Zwischen- oder Nachlagerung[en], dann treten organisatorische und mathematische Probleme höherer Rangordnungen auf, die das "Dilemma der Ablaufplanung"[2] aus den Gestaltungsmaximen der Technizität herauslösen und auf die Ebene der Rentabilität stellen. Mit dem Hinzutreten weiterer damit im Zusammenhang stehender Kriterien ergeben sich von der Unternehmensleitung zu lösende Entscheidungsprobleme.

Dem Einsatz von Datenverarbeitungsanlagen zur Lösung dieser Probleme sind allerdings Grenzen gesetzt, die einmal durch die beschränkte Speicherkapazität dieser Anlagen, zum anderen von Kostengesichtspunkten bestimmt werden. So beträgt die Zahl der möglichen Reihenfolgen für n Produkte auf m Maschinen $Z=(n!)^m$ ohne Festlegung der Reihenfolgen. Für 5 Produkte auf 3 Maschinen ist $Z = 1.728.000$.[3] In einem anderen Fall erfordert zum

---

1) Vgl. dazu Pfaffenberger =Produktionsplanung= 127, zu dem Begriff organisatorische Lagerbestände vgl. auch Kosiol =Organisation= 231 - 235.
2) Gutenberg =Grundlagen= 157 ff.
3) Pfaffenberger =Produktionsplanung= 134.

Beispiel die Ablaufsteuerung der Teilefertigung eines Unternehmens der Elektroindustrie mit überwiegend Einzel- und Kleinserienfertigung eine Rechenanlage mit einem Umfang von 10^{23} Kernspeicherstellen, eine Zahl, die die technischen Möglichkeiten zur Zeit weit übersteigt, abgesehen von den Kosten der Aufstellung, Inbetriebnahme und Unterhaltung einer solchen Anlage.

Aus diesen Gründen müssen bei der Kalkülisierung von Modellen für die Probleme der Prozeßstrukturierung eine grosse Anzahl von Nebenbedingungen ausgeklammert oder bestenfalls in eine ceteris-paribus-Klausel gesetzt werden. Die Isomorphie mit der Realität ist damit in Frage gestellt. Dieser Diskrepanz unterliegen viele der zur Zeit bekannten Lagerhaltungs- und Ablaufmodelle. Trotz der Interdependenz von Durchlaufzeit, Kapazitätsnutzung und Bestand an unvollendeter Produktion geht nur eine Komponente in vollem Umfang in die Modellkonstruktion ein. Die übrigen Komponenten versucht man dann über Kennziffern zu erfassen. Diese Kennziffern bleiben auf einfache Relationen beschränkt. Sie spiegeln entweder das Ergebnis eines bereits abgelaufenen Geschehens wieder oder lassen, wenn sie als Norm verwendet werden, die Dynamik eines Produktionsprozesses ausser Betracht.[1)]

Der wohl erste Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen wachsenden Lagerbeständen und Wirtschaftlichkeit bei steigender Produktion findet sich in Bücher's Gesetz der Massenproduktion.[2)]

Die Nutzgrenze in diesem mit gewissen Vorbehalten formulierten Gesetz wird entweder bei der vollen Aus-

---

1) So zum Beispiel die Kennziffer Eindeckzeit , die aus dem Quotienten Halbfabrikatebestand in DM zum Zeitpunkt T und geplante Ausbringung der nächsten drei Monate in DM gebildet wird.
2) Bücher =Massenproduktion= 429 ff.

nutzung der betreffenden Betriebseinrichtung gesehen oder dort, wo mit "weiter wachsender Masse entgegenwirkende kostensteigernde Momente auftreten, so zum Beispiel Aufwand für Betriebskontrolle, Materialverschleuderung und Lagerkosten."[1)]

Der bei Bücher nur unklar empfundene Einfluss von Lagerkosten und Materialeinsatz bei wechselnder Auflagenhöhe der Produkte wurde in der von Harris 1908 in Amerika veröffentlichten Formel für die optimale Losgrösse mathematisch formuliert. Nachdem diese Formel 1922 durch Koch und Kienzle in Deutschland bekanntgemacht worden war, setzten 1927 die ersten Veröffentlichungen hierzu ein.[2)]

In den folgenden Jahrzehnten wurde die Losgrössenformel erweitert und verändert. So bringt Ellinger in seiner Formel der optimalen Werkstattlosgrösse erstmalig den Einfluss der Bearbeitungszeit zum Ausdruck.[3)] In Anlehnung an Schlüter [4)] hebt Pack die Prämisse der zeitlosen Produktion durch das Einbeziehen der Verzinsung des in der Produktion gebundenen Kapitals in einer Losgrössenformel auf.[5)] Müller-Merbach modifiziert eine verbesserte Losgrössenformel durch restriktive Nebenbedingungen.[6)]

Die Wechselbeziehungen von Losgrösse und Zwischenlager werden von Pfaffenberger untersucht.[7)]

---

1) Bücher =Massenproduktion= 438 ff.
2) Stefanic-Allmayer =Bestellmenge=, Andler =Losgrösse= u.a. Die historischen Daten stammen aus einer Untersuchung des RKW Baden-Württemberg.
3) Ellinger =Ablaufplanung= 87, 90 - 96.
4) Schlüter =Untersuchungen= 195 ff.
5) Pack =Optimale Bestellmenge= 38 ff.
6) Müller-Merbach =Losgrössen= 59 ff.
7) Pfaffenberger =Produktionsplanung= 102 ff.

Die Notwendigkeit, wirtschaftliche Systeme grösseren Umfanges zu überblicken und ihre einzelnen Varianten einer Optimierung zu unterwerfen, führte zu den Methoden der linearen Planungsrechnung. Sie umfasst das Gebiet der Lösungsmethoden von Extremwertaufgaben mit mehreren Veränderlichen, in denen die Ausgangsbedingungen und die Nebenbedingungen mittels linearer Gleichungen dargestellt werden können. [1] Weiterhin erfordern die häufig ungenauen Informationen über technische und wirtschaftliche Ereignisse [2] die mathematische Erfassung und Behandlung stochastischer Prozesse mit dem Spezialfall der Markoff'schen Prozesse. In ihr Anwendungsgebiet fällt auch die Theorie der Warteschlangen und die Behandlung von Lagerhaltungsproblemen. [3] Ist in bestimmten Fällen die Wahrscheinlichkeitsverteilung eines Parameters nicht bekannt und wird dieser Parameter durch eine Wahrscheinlichkeitssimulation bestimmt, gelangt man zu den sogenannten "Monte-Carlo-Methoden". [4]

Die Kombination numerischer Verfahren mit nichtnumerischen [5] erlaubt es, die zeitliche Aneinanderreihung von Arbeitsgangfolgen einem Optimum zuzuführen. [6] Die hier verwendete zweiwertige Schaltungsalgebra schränkt zwar den Anwendungsbereich ein, liefert aber wesentliche Ansätze zur Optimierung komplexer Strukturen.

---

1) Zur linearen Planungsrechnung vgl.
   Kromphardt =Entscheidungsmodelle= mit Literatur.
   Kréko =Lineare Optimierung= mit Literatur.
2) Die Ursache der Ungenauigkeit liegt sowohl in der mangelhaften Erfassung erreichbarer Daten als auch in der Unmöglichkeit, notwendige Daten zu erhalten.
3) Vgl. dazu Ferschl =Wirtschaftsprozesse=
4) Vgl. dazu Kromphardt =Entscheidungsmodelle= 418 ff.
   Einen Überblick über Methoden und Modelle von optimalen Lösungen des Zuordnungsproblemes gibt Hoss =Fertigungsablaufplanung= 86 ff.
5) "Unter nichtnumerischen Verfahren sind Rechentechniken zu verstehen, deren Kurzsymbole nicht Zahlen, sondern Buchstaben sind".
   Schweitzer =Prozeßstrukturierung= 191.
6) Schweitzer =Probleme= 63 ff.

Die Bestimmung von Durchlaufzeiten der Arbeitsobjekte mit Verteilungsgesetzen und multiplen Regressionsgleichungen untersucht Weinberg.[1] Die Methode, Durchlaufzeiten aus den gezahlten Lohnbeträgen je Lohnperiode, Arbeitsobjekt und Zeit zu gewinnen, muss jedoch trotz des unleugbaren Zusammenhanges von Arbeitsfortschritt und Lohnaufwand mit Einschränkungen betrachtet werden. Sie ist von zwei Prämissen abhängig: der reale Arbeitszeitaufwand entspricht der gezahlten Lohnsumme und die Zeitvorgabe ist dem tatsächlichen Arbeitsaufwand adäquat. Diese Voraussetzungen lassen sich in einer Unternehmung mit einer stark oszillierenden Einzel- und Serienfertigung nur schwer verwirklichen.

Alle geschilderten Verfahren machen es sich zur Aufgabe, das Ablaufplanungsdilemma[2] einer Optimierung zu unterwerfen oder zumindest Teiloptimierungen herbeizuführen. Aus den eingangs erwähnten Gründen ist eine Optimierung aller Ablaufprozesse in einer Unternehmung nur selten zu verwirklichen. Jede Bestlösung für einen Teilbereich jedoch übt einen Einfluss auf die Koordination innerhalb der Prozeßstruktur und deren Grenzbereiche aus. Für die Kontrolle des Erfolges von Teiloptimierungen muss deshalb eine Massgrösse vorhanden sein, mit deren Hilfe Teileinheiten einer Prozeßstruktur auf ihr Gesamtoptimum untersucht werden können. Unter Gesamtoptimum soll hierbei die optimale Wirtschaftlichkeit unter Einbeziehung aller Einwirkungsfaktoren verstanden werden.

Gelingt es, für ein dieserart gekennzeichnetes Gesamtoptimum einen objektiven Messwert aufzustellen, der sowohl für Stellenmehrheiten als auch für die Unternehmung verwendet werden kann, werden die Auswirkungen einer Veränderung der Prozeßstruktur sichtbar. Zudem können

---

1) Weinberg =Termin-Grobplanung= 13, 15.
2) Vgl. dazu auch Hoss =Fertigungsablaufplanung= 19.

hieraus Grenzwerte abgeleitet werden, bis zu denen eine organisatorische Massnahme im Fertigungsablauf einen zusätzlichen Nutzen erbringt.

Als Kriterium für die Bestimmung der Maßzahl eines derartigen Gesamtoptimums bietet sich ein Komplex besonders an: Es ist dies die Höhe der organisatorischen Lagerbestände beziehungsweise der Werkstattbestände. In diesem Komplex verbinden sich zwei für das Erreichen des eingangs gekennzeichneten Formalzieles der Unternehmung wichtige Komponenten: die mengenmässige Wirtschaftlichkeit und eine Beeinflussung der Liquidität in Form von Kapitalbindung. Jede Veränderung der Ablauforganisation eines Fertigungsprozesses hat unweigerlich Auswirkungen auf die Höhe der Lagerbestände an unvollendeter Produktion, jede Störung oder mangelnde Koordination der Prozeßstruktur einer Stellenmehrheit schlägt sich in einer Erhöhung der Bestände in den organisatorischen Lagern dieser oder der angrenzenden Stellenmehrheiten nieder. Für einen Organisationstyp einer betrachteten Stellenmehrheit mit einem bestimmten Fertigungsverfahren ergibt sich eine definierte Grösse (wertmässig oder zahlenmässig) von organisatorischen Lagern mit engen Beziehungen zur Struktur der Ablaufprozesse.

Das Wesen der Organisation besteht in der "integrativen Strukturierung von Ganzheiten"[1]; Unternehmensorganisation ist das Mittel zur Erfüllung der Unternehmensaufgabe.[2] Aus dem Zusammenhang von organisatorischem Lager und entsprechendem Ablaufprozess lässt sich der Gedanke formen, eine bestimmte Grösse eines oder mehrerer organisatorischer Lager über die Aufgabe einer Maßzahl für betriebliche Optimalprobleme hinaus zur Massgrösse für die Güte einer organisatorischen Struktur zu erheben.

---

1) Kosiol =Organisation= 21.
2) Grochla =Unternehmungsorganisation= 64.

Für diesen Zweck wird es jedoch notwendig, die organisatorischen Lager nach anderen Strukturmerkmalen zu ordnen und sie Werkstattbestände zu nennen. Diese Werkstattbestände sollen unter bestimmten Bedingungen als Maßstab für den Grad der Organisation eines Teilbereiches der Unternehmung herangezogen werden und werden normierte Werkstattbestände genannt.

Der aus der Mathematik entlehnte Begriff der Normierung wird hier in dem Sinne verwendet, daß aus nach technischen oder wirtschaftlichen Gesichtspunkten festgelegten Bedingungen festumrissene und einheitlichen Beurteilungskriterien unterwerfbare Einflußfaktoren gebildet werden, die dazu dienen, einen bestimmten Werkstattbestand als Orientierungsmaßstab zu ermitteln. Diese Werkstattbestände sind dann als normierte Werkstattbestände Meßgröße für Vergleichsrechnungen bei der Beurteilung der Größenordnung von organisatorischen Lagern im Transformationsprozeß. Die Verwendung von Einflußfaktoren zur Ermittlung der Meßgröße normierter Werkstattbestand setzt seinerseits voraus, daß diese Faktoren auch einer Norm als Vergleichs- und Gestaltungskriterium unterworfen wurden. Als relevantes Kriterium steht nur das Prinzip der Wirtschaftlichkeit zur Auswahl:

> "Wirtschaftlichkeit bedeutet ... ein als optimal angestrebtes Verhältnis von Mitteln und zugehörigem Ergebnis, das einen bestimmten Rationalitätsgrad zum Ausdruck bringt". [1)]

Die auf dieses Prinzip normierten Einflußfaktoren führen zu normierten Werkstattbeständen, die somit unter diesen Gesichtspunkten als optimale Werkstattbestände angesehen werden können. Da die so ermittelten optimalen Werkstattbestände als Maßstab gelten sollen, wird im weiteren

---

1) Kosiol =Unternehmung= 13
vgl. auch
Kosiol =Kostenrechnung= 67
Kosiol =Modellanalyse= 322.

Verlauf der Arbeit der Ausdruck normierte Werkstattbestände für optimale Werkstattbestände beibehalten.

Bei der Formulierung der Bedingungen, die als normierte Einflußfaktoren normierte (optimale) Werkstattbestände konstituieren, wird eine Einflußgröße herausgegriffen und einer gesonderten Betrachtung unterworfen: die Liegezeit der Arbeitsobjekte in der Transformationsphase. Liegezeiten von Arbeitsobjekten unterliegen jedoch, wie später darzulegen ist, den wechselnden und selten im voraus bestimmbaren Auswirkungen verschiedener Ursachen, die ihrerseits Glieder einer vorhergehenden Kette von Ursachen und deren Auswirkungen sein können. Zur Quantifizierung der Einflußgröße Liegezeit und ihrer Annäherung an ein Optimum wird die Wahrscheinlichkeitsrechnung als Normierungselement verwendet.

Bei der Verwendung von Werten, die aus einer Wahrscheinlichkeitsfunktion stammen, wird häufig nur mit dem Mittelwert als charakteristische statistische Kenngröße gearbeitet. Mit den bisherigen Voraussetzungen sind Werkstattbestände, die mit dieser statistischen Größe und den weiteren normierten Einflußfaktoren als Durchschnittswerte errechnet werden, ebenfalls als normierte Werkstattbestände zu betrachten und können somit als optimiert gelten.

Im folgenden wird der Zusammenhang von organisatorischem Lager und Werkstattstruktur untersucht und die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung für die Bestimmung normierter Werkstattbestände dargestellt.

B Organisatorische Lager im Transformationsprozess

I. Organisatorische Lager und Werkstattbestand

1. Abgrenzung des Werkstattbestandes zum organisatorischen Lager

Die vielschichtigen und dynamischen Vorgänge im industriellen Transformationsprozess erfordern eine mehr oder weniger umfangreiche Lagerung von Arbeitsobjekten zwischen einzelnen Gangfolgen. Auf diese Lagerbestände zwischen Gangfolgen wird der Begriff des "organisatorischen Lagers" angewendet.[1] Diese Bezeichnung ist als generalisierender Begriff für die Mengen aller lagernden Arbeitsobjekte zwischen Gangfolgen dann berechtigt, wenn diese Lager, den Gestaltungsmaximen der Organisation folgend, echter und notwendiger Bestandteil des (technologischen) Ablaufprozesses sind. Die Anzahl der jeweils lagernden Arbeitsobjekte wird von den Notwendigkeiten der Prozeßstrukturierung bestimmt und soll unter festgelegten Bedingungen ein Optimum erreichen.

Neben organisatorischen Lagern entstehen dispositive sowie improvisatorische Lager.[2] Dispositive Lager werden fast ausschliesslich auf Grund von Einzelmassnahmen und ausserhalb des festgelegten Rahmens der organisatorischen Struktur gebildet. Sie treten nur selten innerhalb eines abgegrenzten Prozessablaufes auf und sind oft das Ergebnis ad hoc gefasster unternehmerischer Entscheidungen. Dispositive Lager sind provisorisch und nicht für eine längere Zeit bestimmt, andernfalls müssten sie den organisatorischen Lagern zugerechnet werden.

---

1) Vgl. dazu Kosiol =Organisation= 231 - 235.
2) Kosiol =Organisation= 234.

Improvisatorische Lager haben in der vorliegenden Untersuchung, über den von Kosiol geprägten Improvisationsbegriff[1] hinausgehend, Merkmale des Unerwarteten, Ungeplanten, ohne Vorbereitung Auftretenden. Sie werden von den dispositiven Lagern dadurch abgegrenzt, dass die sie verursachenden Faktoren nicht Ergebnis eines Entscheidungsvorganges sind (denn dann wären sie dispositive Lager), sondern in einem Zusammenhang mit dem die improvisatorischen Lager verursachenden Ablaufprozess stehen. Sie können zwei Unterformen haben: improvisatorische Lager, die durch dem jeweiligen Ablaufprozess innewohnende, aber nicht erkannte oder nicht bekannte Faktoren hervorgerufen werden, und improvisatorische Lager, die von nicht zum Ablaufprozess gehörenden und nicht vorhersehbaren Faktoren verursacht werden. Nur die letzteren sind echte improvisatorische Lager, während die ersteren Ergebnis einer mangelnden Organisation sind.[2]

Wählt man in Anlehnung an Kosiol[3] für die zwischen zwei Gangfolgen auftretenden Lager den Oberbegriff Gestaltungslager, dann bestehen diese aus den

1) organisatorischen Lagern= Lagerbestände zwischen zwei Gangfolgen, als strukturierter Bestandteil des Ablaufprozesses,
2) dispositiven Lagern= Lagerbestände, die auf Grund einer Entscheidung gebildet werden und nicht zu einem Bestandteil des strukturierten Ablaufprozesses werden, und

---

1) Kosiol =Organisation= 28.
2) Sollen die unerkannten und unbekannten Einflussfaktoren unberücksichtigt bleiben, müssen die durch sie entstehenden Lager unter den Begriff der organisatorischen Lager subsumiert werden und sind dann Strukturelemente des Ablaufprozesses.
3) Kosiol =Organisation= 234-235.

3) improvisatorischen Lagern= Lagerbestände, die durch nicht strukturierbare Einflussgrössen hervorgerufen werden.

Werkstattbestände können Elemente aller drei Lagertypen vereinen.

2. Zum Inhalt des Begriffes Werkstattbestand

Das Werkstattprinzip ist durch die Zentralisation gleichartiger Verrichtungsaufgaben gekennzeichnet: verschiedenartige Objekte werden in einer Werkstatt gleichartigen Verrichtungen unterworfen. [1)]

Für diese nach dem Verrichtungsmerkmal geordneten Tätigkeiten tritt nunmehr das primäre organisatorische Moment zurück: sie werden einem rechnungstechnischem Gliederungsmerkmal unterworfen. Kosiol fügt seiner Aufgabenanalyse als fünfte Dimension die Zweckgliederung nach exogen und endogenen Zweckbeziehungen hinzu. [2)] Aus den endogen induzierten Verwaltungsaufgaben wird ein Kern des Rechnungswesens herausgehoben und die Gruppierung von Stellen nach Abrechnungsgesichtspunkten als primär-endogene Teilaufgabe zum vorrangigen Ordnungsmerkmal erklärt. Die nach diesem rechnungstechnischem bzw. kalkulatorischem Prinzip zusammengefassten Stellen ergeben Abrechnungsbezirke, die hier als Werkstatt bezeichnet werden sollen. Sie kann sich im Grenzfall mit einer organisatorisch gebildeten Stellenmehrheit decken.

Je eindeutiger die Kosten- und Wertezuordnung und deren Erfassung ist, umso besser und präziser können die Werkstätten voneinander abgegrenzt werden. Nur unter diesen Voraussetzungen ist es möglich, in Abteilungen mit gemischten Organisationstypen gesonderte Teilbereiche zu erfassen und die Zweckmässigkeit ihrer Ablaufprozesse zu überprüfen.

---

1) Vgl. dazu auch Kosiol =Unternehmung= 156 ff., Kosiol =Organisation= 49 ff.
2) Vgl. dazu Kosiol =Organisation= 58 ff.

So kann zum Beispiel eine Stanzereiabteilung in mehrere Werkstätten aufgeteilt werden, wobei als zweites Auswahlprinzip eine Ordnung nach dem Verrichtungs- oder Objektprinzip erfolgen kann, z.B.:

Ordnung nach dem			
a_1) Kalkulatorisches Prinzip:	Werkstatt A	Werkstatt B	Werkstatt C
a_2) Verrichtungsprinzip:	alle ölhydraulischen Pressen	alle Schlagspindelpressen	alle Exzenterpressen
b_1) Kalkulatorisches Prinzip:	Werkstatt A	Werkstatt B	Werkstatt C
b_2) Objektprinzip:	alle Pressen für Objekt a	alle Pressen für die Objekte b, c, d	160 t - Exzenterpresse für Objekt e

Das Kalkulatorische Prinzip fordert für alle Werkstätten die Erfassung aller Güterbewegungen und eine eindeutige Kostenzuordnung.

Ein Bestand ist die mengenmässige Zusammenfassung einer Objektart [1]. Die Mengenkennzeichnung kann durch ein Längen-, Gewicht-, Raum- oder Stückmass erfolgen.[2] Zum Zweck der Vergleichbarkeit und Rechenbarkeit wird die Menge in die allgemeingültige Grösse Wert umgeformt.[3] Der mengenmässige Bestand wird durch die Ge-

---

1) Vgl. dazu Göldner =Aufbauorganisation= 47.
2) Zur Mengenerfassung vgl. Kosiol =Kostenrechnung= 136 - 137; Göldner =Ablauforganisation= 301 ff.
3) "Der Wert wird als individuelle Rangordnung von Handlungsweisen oder Gegenständen aufgefasst, während der Preis das Austauschverhältnis von Gütern am Markt darstellt."
Heinen =Kostenlehre= 73;
vgl. dazu auch Grochla =Materialwirtschaft= 76, 78.

wichtung der Objektarten mit ihrem Wert in einen Geldausdruck übersetzt. Die Bewertung selber wirft eine Anzahl bilanztechnischer und steuerrechtlicher Probleme auf, auf deren Erörterung hier verzichtet werden soll.[1)]

Eine Materialbereitstellung hat die Aufgabe, die Bestlösung von reibungsloser Versorgung der Fertigung und geringster Mengenlagerung zu realisieren. Es ist deshalb notwendig, in einen Bestandsbegriff, der sich auf die eingangs definierte Werkstatt bezieht, den mengenmässigen beziehungsweise wertmässigen Bestand der Vorlagerung, die zur unmittelbaren Versorgung der betrachteten Einheit dient, mit einzubeziehen. Diese Vorlagerung soll unmittelbare Bereitstellung genannt werden und umfasst alle Mengen von Objekten und Objektarten, die auf Grund eines Fertigungsauftrages oder auf Grund einer Auftragsdisposition unmittelbar einer Werkstatt, Maschine oder Arbeitsplatz zugeordnet werden können.[2)]

---

1) Vgl. dazu Littmann =Betriebsabrechnung=
Kühn =Bewertung=
Rohrer =Herstellungskosten=

2) So ist z.B. von einer Gesamtmenge eines vorhandenen Rohmaterialbestandes diejenige Teilmenge in die unmittelbare Bereitstellung einzubeziehen, die auf Grund eines Fertigungsauftrages für eine Werkstatt oder Maschine vordisponiert ist. Häufig wird die unmittelbare Bereitstellung aus Objektarten mit spezifischen auftragsgebundenen Abmessungen oder Eigenschaften bestehen.
Vgl. dazu auch van der Velde =Herstellungskosten= 77.
Zum Verfahren der Ist-Kostenerfassung
vgl. auch Kosiol =Kostenrechnung= 136 - 141.

Aus den bisherigen Ausführungen ergibt sich folgende Definition des Werkstattbestandes:

> Werkstattbestand ist die Summe der bewerteten Mengen aller Objektarten, die zu einem Zeitpunkt oder während eines Zeitraumes in einer als Werkstatt bezeichneten Stellenmehrheit aufgenommen werden und in einem Zusammenhang mit dem Arbeitsprozess stehen. Hinzugerechnet werden die Bestände der unmittelbaren Bereitstellungen. Die Bestandszuordnung für die betrachtete Stellenmehrheit erlischt mit dem Zeitpunkt des Abganges einer Objektart aus dieser Einheit an eine nächste Stellenmehrheit oder Abteilung.

II. Die Wechselbeziehungen zwischen Organisation der Produktion und dem Werkstattbestand

1. Die Bestimmungsgrössen für Werkstattbestände

Im Transformationsprozess vollzieht sich eine Einsatz-Ausbringungsrelation. Während des fortschreitenden Produktionsprozesses erfahren die in ihm eingesetzten Sachgüter ausser einer technischen Veränderung auch eine wertmässige: mit der unmittelbaren Bereitstellung beginnt der Einsatz bewerteter Sachgüter, die durch den nachfolgenden Transformationsprozess in ihrem Wert erhöht werden. Die Leistungsvorgänge in der Herstellungsphase erfordern einen im Zeitablauf zunehmenden Kapitaleinsatz, mit einer der Höhe nach engen Beziehung zur Art des Leistungsvorganges selber. Das für die Dauer der Gütererzeugung gebundene Kapital wird erst mit dem Zahlungseingang für das verkaufte Gut der Unternehmung wieder zugeführt.

Somit werden der Unternehmung für die Zeit vom Güterein-

satz[1] bis zum Geldeingang liquide Mittel entzogen.[2] Dieser Zeitraum, der mit den Geldmitteln der Unternehmung überbrückt werden muss, wird bei Kosiol "Kassenüberbrückungsdauer" genannt.[3] Diese "negative Kassendauer" ist dann am geringsten, wenn vom Gütereinsatz bis zur Ausbringung nur die für den technischen Prozess notwendige Zeit aufgebracht werden muss.[4] Dieser ideale Fertigungsprozess ist nur selten zu verwirklichen.

Sieht man von der Dauer der Vor- und Nachlagerung ab, dann wird die Kassendauer im Wesentlichen von der Fertigungszeit bestimmt. Der "Liquidierbarkeitsgrad" der Güter ist während dieser Zeit am geringsten.[5]

Versteht man unter Fertigungszeit die Zeit für die Materialbereitstellung (t_B) + die Summe der Auftragszeiten je Arbeitsgang (Σt_A) + Summe der Liegezeiten zwischen den Arbeitsgängen (Σt_l); dann lautet die Forderung für alle Produkte in der Fertigung

$$\sum t_B + \sum t_A + \sum t_l \stackrel{!}{=} \min.$$

Diesem Umstand versuchen alle Methoden der Durchlaufplanung beziehungsweise Fertigungsablaufplanung gerecht zu werden. Wie eingangs erwähnt[6], haben viele dieser Methoden den Nachteil, dass sie Liquiditätsgesichtspunkte unberücksichtigt lassen. Andererseits kann bei einem festgelegten Produktionsprogramm, kurzfristig nicht veränderbarer Organisation der Werkstätten und im wesentlichen

---

1) Die kreditorischen Beziehungen der Vorlagerung werden hier nicht berücksichtigt. Vgl. dazu Kosiol =Unternehmung= 123 ff.
2) Vgl. dazu auch Langen =Prognose= 292.
3) Kosiol =Unternehmung= 127.
4) Vgl. dazu Langen =Zahlungströme= 261 ff. Die Geldbewegungen in der Beschaffungs- und Absatzphase sollen ausser Ansatz bleiben.
5) Vgl. dazu Kosiol =Unternehmung= 134 ff.
6) Vgl. S.25

unveränderlichen Arbeitsverfahren ein dadurch bestimmter Kapitalbedarf nicht unterschritten werden.

Für die Überlassung von Geld muss ein Preis bezahlt werden: der Zins. Für die Abwicklung der Leitungsprozesse innerhalb einer Werkstatt werden Geldmittel benötigt, für die eine bestimmte Verzinsung angesetzt wird. Die Werkstattbestände ihrerseits "tragen durch ihr Vorhandensein an sich generell Kapitalcharakter" [1]. Das in den Werkstattbeständen gebundene Kapital wird unter dem Gesichtspunkt des Vorrätigkeitsverzehrs im kontinuierlichen Zeitablauf mit einem (kalkulatorischen) Zins belegt. [2] [3]. Unter Berücksichtigung dieser beiden Tatbestände wird für das in den Werkstattbeständen gebundene Kapital ein Zinssatz angesetzt: der der Preis für überlassenes Geld und für den Vorrätigkeitsverzehr ist. Dieser Zinsfuß wird im folgenden Text mit α bezeichnet.[4]

Unter Berücksichtigung des bisher Gesagten kann die obige Forderung nach Verkürzung der Fertigungszeit erweitert werden:

> Bei gegebener Organisation der Werkstatt und gegegebenem arbeitstechnischen Verfahren soll für ein zeitlich bestimmtes Produktionsprogramm und unter Berücksichtigung des Faktors α die Summe der Werkstattbestände eine definierte Wertgrösse K_E nicht überschreiten.

Die Ermittlung dieses Wertes K_E wird im folgenden Abschnitt mathematisch dargestellt.

---

1) Kosiol =Kostenrechnung= 26.
2) Schmalenbach =Kapital= 6 ff, 35 ff.
3) Kosiol =Kostenrechnung= 26 ff.
   =Unternehmung= 131.
4) Vgl. dazu auch Schmalenbach
   =Wirtschaftslenkung= 12 ff.

Die Formel für die nachschüssige Zinseszinsrechnung lautet

$$(1)\quad K_n = K_0\,(1+i)^n \qquad 1)$$

$i = \frac{p}{100}$; n = Anzahl der (ganzzahligen) Zinsperioden; t_z = Dauer der gleich langen Zinsperioden; p = Zinsfuss in % pro Zinsperiode.

Diese Formel soll umgeformt werden: Die Zinsen werden sofort nach ihrer Entstehung dem Kapital zugeschlagen = stetige Verzinsung, lim $t_z \to 0$. Die verflossene Zeit wird mit t bezeichnet. Danach ist $t = n \cdot t_z$, wobei n nicht mehr ganzzahlig sein muss.

Um für den gleichen Zeitraum dieselbe Verzinsung zu erhalten, muss sich bei einer Veränderung von t_z auch i ändern:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{t_{z_1}}{t_{z_2}} \quad ; \quad i_2 = \frac{t_{z_2}}{t_{z_1}} \cdot i_1$$

Für eine Zinsperiode t_{z1} ist

$$(2)\quad K_{n_1} = K_0\,(1+i_1)^{n_1} \; ; \; t = n_1 \cdot t_{z_1}$$

und für eine Zinsperiode t_{z2}

$$(3)\quad K_{n_2} = K_0\,(1+i_2)^{n_2} \; ; \; t = n_2 \cdot t_{z_2} \; ; \; n_2 = \frac{t}{t_{z_2}}$$

Mit t als stetiger Veränderlicher und t_{z2} als Parameter wird

$$(4)\quad K_{n_2} = K(t, t_{z_2}) = K_0\left(1 + \frac{i_1}{t_{z_1}} \cdot t_{z_2}\right)^{\frac{t}{t_{z_2}}}$$

Die Grössen mit Index 2 werden einem Grenzübergang unterworfen:

$$(5)\quad \lim_{t_{z_2} \to 0} (t; t_{z_2}) = K(t)$$

---

1) Kosiol =Finanzmathematik= 19.

Es soll sein $x = \frac{t_{z_1}}{i_1} \cdot \frac{1}{t_{z_2}}$ und $\lim_{t_{z_2} \to 0} \hat{=} \lim_{x \to \infty}$

Somit kann (4) geschrieben werden als

$$(6) \quad K(t; x) = K_0 \left[\left(1 + \frac{1}{x}\right)^x \right]^{\frac{i_1}{t_{z_1}} \cdot t}$$

Für $\lim_{x \to \infty}$ wird

$$(7) \quad K(t; x) = K_0 \left[\lim_{x \to \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x \right]^{\frac{i_1}{t_{z_1}} \cdot t}$$

Mit $e = \lim_{x \to \infty} (1 + \frac{1}{x})^x$ wird (7) zu

$$(8) \quad \lim_{x \to \infty} K(t,x) = K_0 \cdot e^{\frac{i_1}{t_{z_1}} \cdot t}$$

Fächert man die gesamte Durchlaufzeit eines Arbeitsobjektes in ihre Einzelzeiten auf, dann ist die gesamte Durchlaufzeit

$$(9) \quad T = t_{l_1} + t_{A_1} + t_{l_2} + t_{A_2} + \dots t_{l_n} + t_{A_n}$$

t_{l_n} = Liegezeit vor dem n-ten Arbeitsgang

t_{A_n} = Auftragszeit für den n-ten Arbeitsgang

$t_n = t_{l_n} + t_{A_n}$

$$T = \sum_{j=1}^{n} t_{l_j} + \sum_{j=1}^{n} t_{A_j}$$

Mit der unmittelbaren Materialbereitstellung erfolgt ein Einsatz bewerteter Sachgüter in der Höhe von K_0. Das Kapital wird bereits während der Liegezeit t_{l_1} und der Auftragszeit für den ersten Arbeitsgang t_{A_1} mit α

verzinst. Der aus dem mittleren Arbeitskostenfaktor je Zeiteinheit[1] der beobachteten Werkstatt und der Auftragszeit t_{A_1} sich ergebende Mehrwert wird dem Anfangskapital K_0 unmittelbar zugeschlagen und während der Dauer der folgenden Liegezeit t_{L_2} und der Auftragszeit t_{A_2} mit α verzinst und so fort.

Unter Verwendung von Formel (8) für die stetige Verzinsung ergibt sich dann für den Kapitaleinsatz K_E[2]

$$(10)\quad K_E = \Big\{\Big[(K_0 \cdot e^{\alpha t_1} + K_1)e^{\alpha t_2} + K_2\Big]e^{\alpha t_3} + \dots K_{n-1}\Big\}e^{\alpha t_n} + K_n$$

Mit t_{A_n} ist der Abgang des Produktes aus der Werkstatt verbunden. Die darauf folgende Liegezeit ist bereits dem ersten Arbeitsgang in der nächsten Werkstatt zuzurechnen.

(10) zusammengefasst und geordnet ergibt

$$(11)\quad K_E = \sum_{k=0}^{n-1} K_k e^{\alpha(t_{k+1} + \dots t_n)} + K_n$$

$$= \sum_{k=0}^{n-1} K_k e^{\alpha \sum_{j=k+1}^{n} t_j} + K_n$$

wobei

---

1) Unter mittlerem Arbeitskostenfaktor wird das gewogene Mittel der in einer Werkstatt aufgewendeten Personalkosten zuzüglich dem auf die Zeiteinheit bezogenen Gemeinkostenzuschlag verstanden.
Vgl. dazu auch Kosiol =Kostenrechnung= insbes. 152 - 180.

2) Vgl. S. 40

$$T_k = \sum_{j=1}^{k} t_j$$ und

$$T_n = \sum_{j=1}^{n} t_j$$ sein soll.

k ist der laufende Index für Liegezeit und Arbeitszeit.
Es kann geschrieben werden

$$\sum_{j=1}^{k} t_j + \sum_{j=k+1}^{n} t_j = \sum_{j=1}^{n} t_j$$

oder in anderer Form

$$\sum_{j=k+1}^{n} = T_n - T_k$$

Diesen Ausdruck in (11) eingesetzt, ergibt

$$(12)\quad K_E = \sum_{k=0}^{n-1} \mathcal{K}_k e^{\alpha (T_n - T_k)} + \mathcal{K}_n$$

Es ist aber

$$\mathcal{K}_n = \mathcal{K}_n \cdot e^0 = \mathcal{K}_n \cdot e^{\alpha (T_n - T_n)}$$

und für k = n

$$\mathcal{K}_n = \mathcal{K}_n \cdot e^{\alpha (T_n - T_k)}$$

Damit wird aus (12)

$$(13)\quad K_E = \sum_{k=0}^{n} \mathcal{K}_k \cdot e^{\alpha (T_n - T_k)}$$

Wegen

$$t_j = t_{lj} + t_{Aj} \quad \text{und} \quad t_k = t_{lk} + t_{Ak}$$

kann (13) geschrieben werden

$$(14)\quad K_E = \sum_{k=0}^{n} K_k \, e^{\alpha\left[\left(\sum_{j=1}^{n} t_{lj} - \sum_{j=1}^{k} t_{lj}\right) + \left(\sum_{j=1}^{n} t_{Aj} - \sum_{j=1}^{k} t_{Aj}\right)\right]}$$

$$K_E = \sum_{k=0}^{n} K_k \, e^{\alpha \sum_{j=k+1}^{n} t_{Aj}} \cdot e^{\alpha \sum_{j=k+1}^{n} t_{lj}}$$

Nach den Tabellen für e^x können nunmehr Tafeln mit α als Parameter und den Summenzeiten für t_A und t_l aufgestellt werden.

Eine Anwendung der Formel (14) stösst jedoch auf Schwierigkeiten. Die Summe aller t_A ist durch die arbeitstechnischen Verfahren festgelegt und zu ermitteln. Über die zu erwartenden Liegezeiten ist in den meisten Fällen keine Aussage möglich, denn

$$0 \leqq \sum_{j=k+1}^{n} t_{lj} \leqq \infty$$

Liegezeiten von Arbeitsobjekten vor Arbeitsplätzen entstehen durch Arbeitsstauungen, das heisst durch das Warten eines Teiles oder mehrerer Teile auf das Freiwerden des Arbeitsplatzes von anderen Teilen. Bei nahezu konstanter Durchlassfähigkeit eines Aggregates müssen die Teile umso länger auf ihre Bearbeitung warten, je mehr Teile gleichzeitig oder während der Bearbeitungszeit eines Loses am Arbeitsplatz eintreffen. Zwar enthalten die jeweiligen Methoden der Fertigungsablaufplanung Hinweise für Unterbrechungsnormative, die der gegenseitigen Beein-

flussung der verschiedenen Teilprozesse gerecht werden sollen. Diese Hilfsgrössen spiegeln jedoch die sich ständig ändernden Produktionsbedingungen mit der fast unübersehbaren Vielzahl gegenseitiger Abhängigkeiten nicht wieder. Um aber die Höhe der Werkstattbestände und die Werte für K_E zu erhalten, ist eine Fixierung der t_l-Grössen nötig.

Unter bestimmten Voraussetzungen lassen sich die Liegezeiten aus den Gesamtdurchlaufzeiten extrahieren und vorausbestimmen. Nicht zuletzt wird der Grad der technologischen Heterogenität beziehungsweise Homogenität und die Struktur der Leistungsarten[1] die Liegezeiten und damit die Werkstattbestände beeinflussen. Es sollen im folgenden deshalb Werkstattbestände in der Fliessfertigung sowie in der Einzel- und Serienfertigung erörtert und die ihre Höhe beeinflussenden Grössen skizziert werden.

2. Werkstattbestände in der Fliessfertigung

Die Fliessfertigung von Stückerzeugnissen wird von einigen Autoren auch als Reihenfertigung mit Zeitzwang[2] bezeichnet. Sie beruht auf einer ununterbrochenen Folge einheitlicher Leistungen[3] = massenhafte Homogenität und einer gemeinsamen Rohstoffbasis.

Riebel[4] legt strengere Maßstäbe bei einer Gliederung von Erzeugungsverfahren an. Seine Analyse trennt die Bewegungsvorgänge des Arbeitsganges von den Bewegungsvorgängen der Gangfolgen. Von drei die Bewegungsvorgänge bestimmenden

---

1) Zur Struktur der Leistungsarten vgl. Kosiol =Kostenrechnung= 109 ff.
2) Gutenberg =Grundlagen= 76.
3) Kosiol =Kostenrechnung= 109 - 111.
4) Riebel =Erzeugungsverfahren= 91 ff.

Kriterien unterliegen die ersten beiden von ihm genannten Kriterien, der Rhythmus des Materialflusses und der Rhythmus in der Wiederholung von Teilarbeitsgängen, dem Einfluss der arbeitstechnischen Verfahren und sind damit in der Zeit t_A berücksichtigt. Übrig bleibt das dritte Kriterium, der Rhythmus des Produktionsfortschrittes beziehungsweise die Aufeinanderfolge einzelner Arbeitsgänge. Mit diesem Kriterium hebt Riebel den Erfolg einer Ablaufplanung und Ablaufsteuerung für ein Fertigungsverfahren hervor. Die Bedeutung dieses Kriteriums wird noch klarer, wenn man sich die Grenzen einer Strukturierung des räumlichen und zeitlichen Fortschreitens des Leistungsprozesses vergegenwärtigt: Eine obere Grenze liegt in der "pausenlosen Reihung" [1] der Arbeitsobjekte bei strenger Determiniertheit der Gangfolgen, die untere Grenze wird gebildet von der völligen Regellosigkeit der Gangfolgen für Arbeitsobjekte mit einer undeterminierten zeitlichen und räumlichen Zuordnung. Zwischen diesen beiden Grenzen liegt das ganze Spektrum der ablauforganisatorischen Strukturen.

In Riebel's Rhythmus des Produktionsfortschrittes findet die Strukturierung der Leistungsprozesse ihren Niederschlag. Es liegt deshalb nahe, aus der Beherrschung der Ablaufprobleme, gemessen am Rhythmus des Produktionsfortschrittes, den Grad einer erreichten Strukturierung zu messen und mit einer erreichbaren Organisation zu vergleichen.[2]

Bei einer Kontinuität der zeitlichen Folgen der Arbeitsgänge in der Fliessfertigung (Riebel nennt sie "quasikontinuierlich"[3]) ist offenbar von der Strukturierung

---

1) Schweitzer =Probleme= 70.
2) Zu den Beziehungen zwischen Realtechnik und Organisation vgl. auch Grochla =Unternehmungsorganisation= 64 ff.
3) Riebel =Erzeugungsverfahren=

her gesehen die optimale Durchlaufzeit erreicht. Diese kann aufrechterhalten werden, wenn die Kontinuität des Arbeitsprozesses auch bei Ausfällen und Störungen einzelner Aggregate und Komponenten beibehalten wird.

Zur Überbrückung solcher Ausfälle müssen an den entsprechenden Stellen Ergänzungseinheiten in einer Anzahl lagern, die die zu erwartenden Ausfälle mit einer bestimmten Sicherheit decken können. Ihre Ermittlung wird später behandelt.[1] Der Wert der Ergänzungseinheiten muss rechnerisch in die Bestände einbezogen werden.

Die Werkstattbestände bei der Taktfertigung sind abhängig vom Wert des Materialeinsatzes, von der Dauer und Anzahl der Arbeitstakte bis zur Fertigstellung des Arbeitsobjektes in der Werkstatt, vom Kostenfaktor w je Zeiteinheit und von der Anzahl der Ergänzungseinheiten. Um den Gesamtwert der Werkstattbestände gering zu halten, sollte die Zeitdauer für die unmittelbaren Bereitstellungen nicht grösser als $n \cdot t_A$ sein, wobei n die Anzahl der Arbeitstakte bezeichnet:[2] $t_A \leq t_B \leq n \cdot t_A$

Die Organisation einer solchen Werkstatt wird im allgemeinen der Anordnung nach dem Objektprinzip folgen. Bei den Kapazitätsbetrachtungen sind die technischen Grenzen der Aggregatleistungen ausschlaggebend.

---

1) Vgl. Seite 132

2) Ein in der Fliessfertigung häufig verwendetes Fliessband erlaubt es, bei kleineren Teilen die Teile für jeden Arbeitsgang (und soweit deren Grösse es erlaubt) vor Beginn des ersten Arbeitstaktes auf das Band zu legen. Folgt das Auflegen im gleichen Arbeitstakt wie die Fertigung, dann beträgt die Dauer der unmittelbaren Bereitstellung für Teile, die im letzten Arbeitstakt benötigt werden = $n \cdot t_A$.
Bei grösseren Teilen werden diese in Abhängigkeit von der Taktfolge den Arbeitsplätzen des Fliessbandes unmittelbar zugeordnet. Mit Beginn des Taktes rückt das für den nächsten Arbeitstakt benötigte Zubehörteil in die unmittelbare Bereitstellung, deren Dauer damit = t_A ist.

3. Werkstattbestände in der Einzel- und Serienfertigung

Kennzeichen der Einzel- und Serienfertigung ist deren Diskontinuität. Die Inhomogenität der Leistungen zeigt sich nicht nur in den Gangfolgen, auch die Leistungsabgabe jedes am Arbeitsprozess beteiligten Elementes wechselt mit differenzierter Aufgabenstellung.[1] Eine Variation der Einsatzgüter, häufiger Wechsel der Produktarten und Losgrössen bewirken eine Unstetigkeit des Produktionsflusses. Hinzu kommen technisch bedingte Einflussgrössen. So stehen der Tendenz einer weitgehenden Mechanisierung der Arbeitsprozesse die Forderungen nach universelleren Produktionsausrüstungen gegenüber. Der damit verbundene häufige Wechsel der durchzuführenden Arbeiten an der gleichen Maschine führt zu längeren Einrichte- und Rüstzeiten.

Die Folgen aller dieser Einflussgrössen schlagen sich in den Liegezeiten der Arbeitsobjekte nieder. Es ist in den Unternehmungen oft zu beobachten, dass trotz des Einsatzes von "Terminjägern" der Anteil der Liegezeiten an der Durchlaufzeit der Arbeitsobjekte wächst und die Stillstandszeiten von Maschinen grösser werden.[2] Untersuchungen des Verfassers in Werkstätten mit Einzel- und Serienfertigung ergaben einen Anteil der Liegezeiten von 90% und darüber an der Gesamtdurchlaufzeit. Die Folgen dieser überhöhten Durchlaufzeiten sind nicht eingehaltene Lieferfristen und hohe Werkstattbestände.

Während die Auftragszeiten t_A im allgemeinen durch das technische Verfahren festliegen und sorgfältig geplant werden, bestehen hinsichtlich der Grössenordnung der

---

1) Vgl. dazu auch Gutenberg =Grundlagen= 74, 75.
2) Ein nicht zu unterschätzender Einflussfaktor sind die in solchen Fertigungen häufigen dispositiven Eingriffe übergeordneter Stellen.

auftretenden Liegezeiten ungenaue Vorstellungen. Erschwerend fällt ins Gewicht, dass die Werte für t_l einerseits stochastische Grössen sind und zum anderen als abhängige Variable der Produktionsbedingungen angesehen werden müssen.

Eine Erfassung, Ordnung und Analyse aller Einflussgrössen und der durch sie bewirkten Liegezeiten ist deshalb zum Ausgangspunkt jeder Untersuchung von Werkstattbeständen zu machen.

4. Die Analyse der Einflussfaktoren von Liegezeiten

Für die Dauer von Liegezeiten und damit für die Höhe von Werkstattbeständen sind eine Anzahl von Einflussfaktoren ausschlaggebend, die ihrerseits wiederum aus der jeweiligen Organisation der Werkstatt und der Beherrschung der in ihr ablaufenden Leistungsprozesse resultieren. Diese Einflussgrössen (beziehungsweise Einflussfaktoren) werden je nach der Unmittelbarkeit ihrer Wirkung auf die Liegezeiten in originäre und abgeleitete Einflussfaktoren gegliedert.

Eine unmittelbare Wirkung auf die Liegezeiten von Arbeitsobjekten haben die Kapazität einer Werkstatt und die für den Produktionsprozess getroffenen arbeitsvorbereitenden Massnahmen. Sie gehören deshalb zu den originären Einflussgrössen und stehen an erster Stelle der Analyse. Da Kapazität und arbeitsvorbereitende Massnahmen keine Dimension als Einflussgrösse auf die Liegezeiten haben, ist es notwendig, zum Zweck einer Normierung dieser Grössen gewisse Voraussetzungen zu schaffen, deren Erfüllung als eine Bedingung für die Bezeichnung normierte Einflussgrösse vorausgesetzt werden muss.

Diese normierten Einflussgrössen verursachen einen definierten Werkstattbestand, der unter den vorher formulierten Voraussetzungen zu einem minimierten Bestand erklärt wird. Soweit sich weder die Organisation der Werkstatt noch die Strukturierung des Ablaufprozesses ändert, wird sich dieser Bestand nur verändern, wenn eine der Einflussgrössen sich verändert.

a) Die Prüfung der originären Einflussfaktoren

aa) Die Kapazitätsbedingung

Die Kapazitätsbedingung kann nur dann erfüllt werden, wenn bei der Produktionsplanung die Nutzung der vorhandenen Kapazität im Zusammenhang mit der jeweiligen Organisationsform beachtet wird. Die Organisation selbst bestimmt dabei zwar nicht die Grösse der Kapazität, wohl aber deren Nutzung.[1)]

Der Kapazitätsausnutzungsgrad ist das Ergebnis der Multiplikation des Beschäftigungsgrades mit dem Leistungsgrad.[2)] Damit wird eine Trennung zwischen der temporalen und der intensitiven Kapazitätsnutzung getroffen:

$$\text{Kapazitätsausnutzungsgrad} = \frac{\text{effektive Beschäftigung}}{\text{mögliche Beschäftigung}} \times \frac{\text{Leistungsintensität}}{\text{Leistungsbereitschaft}}$$

Vormbaum[3)] schlägt die Erweiterung der Formel um den

---

1) Zur gleichen Auffassung gelangen Kern und Clar. Beide führen unter anderem aus, dass keine der Kapazitätsdeterminanten beziehungsweise Bestimmungsfaktoren der Kapazität für sich allein oder auch zusammen eine "potente Leistungsfähigkeit" besitzen, sondern diese erst in einer integrativen Verflechtung mit anderen betrieblichen Einflussgrössen wirksam wird. Vgl. dazu Kern =Messung= 70 und Clar =Kapazitätsnutzung= 44.
2) Kern =Messung= 134; Clar =Kapazitätsnutzung= 70, 71.
3) Vormbaum =Kapazität= 110 ff.

Quotienten Organisationsgrad vor. Das wird jedoch erst dann sinnvoll, wenn dieser Quotient Abweichungen von einer definierten Organisation ausdrücken kann, die ihrerseits in sinnvoller Kombination zur Formalstruktur des Sachbereiches steht und durch Zahlenwerte ausgedrückt werden kann.

Die Kapazitätsbedingung ist erfüllt, wenn unter Berücksichtigung der Werkstattstruktur die für die Aufgabenerfüllung notwendigen Werte der effektiven Beschäftigung und der Leistungsintensität in die obige Formel eingesetzt einen Kapazitätsausnutzungsgrad gleich oder nur wenig kleiner als 1 ergeben.

Die Erweiterung der Formel um ein auf die Organisation bezogenes Korrekturglied erscheint wünschenswert, denn ein Kapazitätsausnutzungsgrad von 1 bedeutet nur, dass die betrachtete Kapazität maximal genutzt wird, er stellt keine Beziehungen zur Gesamtstruktur des zugehörigen Sachmittelbereiches her.[1)]

bb) Die technische Bedingung

Nach der Definition des AWF[2)] umfasst die Arbeitsvorbereitung die Gesamtheit aller Massnahmen für die Planung, Steuerung und Überwachung der Fertigung und wird aufgegliedert in die Hauptaufgaben Fertigungsplanung und Fertigungssteuerung. Planungsarbeiten sind einmalig zu treffende vorbereitende Massnahmen und orientieren sich

---

1) In einer vom Verfasser untersuchten Werkstatt wurden von der Auftragsstelle ständig mehr Aufträge gegeben, als die Werkstatt bearbeiten konnte. Der Kapazitätsausnutzungsgrad jeder Leistungseinheit war sehr hoch, die Durchlaufzeiten und Werkstattbestände nahmen grosse Werte an.

2) Vgl. =Hütte= Seite 547.

an der technischen Struktur des (geplanten) Erzeugnisses. Die Qualität der Fertigungsplanung beeinflusst weitgehend die (späteren) Liegezeiten der Arbeitsobjekte. Sie wird als normierte Einflussgrösse die technische Bedingung genannt.

Die technische Bedingung ist erfüllt bei optimaler Vorbereitung und Planung des technologischen Prozesses.

Die Frage nach dem Optimum einer Fertigungsplanung ist nicht leicht zu beantworten. Die technologische Lösung ist hier nicht Gegenstand der Untersuchung und wird deshalb ausgeklammert. [1] Einer Bestlösung können nur noch weitere, der Fertigungsplanung zuzurechnende organisatorische Massnahmen unterworfen werden. [2]

Bei häufig wechselnder Einzel- und Serienfertigung ist es zum Beispiel nicht immer zweckmässig, für jeden neuen Auftrag die arbeitsvorbereitenden Aufgaben im vollen Umfang durchzuführen. Ein bestimmter Anteil der Aufgaben (zum Beispiel Auswahl der Maschine, selbständige Angabe der benötigten Arbeitszeit etc.) kann an die Werkstatt delegiert werden. Eine optimale Vorbereitung und Planung liegt dann vor, wenn eine die technologischen Forderungen des Arbeitsauftrages erfüllende wirtschaftliche Bestlösung für die Verteilung der Aufgaben zwischen arbeitsvorbereitender Stelle und Werkstatt gefunden ist. Diese sehr weit gefasste Optimalitätsbedingung muss für jede Unternehmung und deren Fertigungsbereiche präzisiert werden. Im Rahmen dieser Arbeit führt es zu weit, auf die je nach Unternehmungsgrösse und Fertigungsprogramm unterschiedlich anzusetzenden Kriterien einer optimalen Fertigungsplanung einzugehen. [3]

---

1) Da die technologischen Lösungen kurzfristig meist nicht geändert werden können (zum Beispiel Werkzeuge, Formgebung etc.), sind sie für den überschaubaren Zeitraum konstant und damit normierte Einflußgrößen.
2) Die Grenzen zu den Steuerungsaufgaben sind in den einzelnen Unternehmungen fließend.
Vgl. dazu auch Kortzfleisch =Arbeitsvorbereitung= 12 ff
3) Einschlägige Literatur dazu siehe v. Kortzfleisch =Arbeitsvorbereitung=, Kosiol =Untersuchungen= u.a.

cc) Die organisatorische Bedingung

Die Aufgaben der Fertigungslenkung werden von den zu strukturierenden Momenten der Ablauforganisation bestimmt. Die normierte Einflussgrösse soll deshalb als organisatorische Bedingung bezeichnet werden.

Zur Erfüllung dieser Bedingung sind alle Massnahmen zu rechnen, die an den Anfang einer gezielten Fertigungslenkung gestellt werden müssen. Dazu gehört die Bereitstellung von Auftragsunterlagen ebenso wie die Materialbereitstellung. Eine Terminplanung unter der Berücksichtigung der Durchlaufzeit für alle Arbeitsobjekte ist notwendig.

Die organisatorische Bedingung gilt als erfüllt, wenn der Grenznutzen einer zusätzlichen organisatorischen Massnahme gegen 0 geht beziehungsweise der Nutzenzuwachs geringer ist als die Kosten für die zusätzliche organisatorische Massnahme.[1)]

Alle drei genannten originären Einflussgrössen und die Erfüllung der normierenden Bedingungen bilden die Grundlage für die Ermittlung eines normierten Werkstattbestandes. Für eine Analyse von Liegezeiten müssen die Einflussfaktoren rangmässig geordnet und auf die Erfüllung der geforderten Bedingungen untersucht werden.[2)]

---

1) Vgl. dazu Gutenberg =Grundlagen= 189, Schmalenbach =Wirtschaftslenkung= 52 ff.

2) Die Rangfolge einer Untersuchung von Ursachen für Liegezeiten kann zum Beispiel mit Hilfe datenverarbeitender Anlagen ermittelt werden. Zu diesem Zweck wird eine Lochkarte als Arbeitsbegleitkarte so gestaltet, dass für jeden Arbeitsgang die Nichterfüllung einer der drei originären Bedingungen oder das Fehlen erforderlicher Angaben oder sonstiger Fertigungsvoraussetzungen eine (spätere) Lochung auslöst. Die gesammelten und sortierten Karten geben, je nach Art der Unterteilung, die Häufigkeit der einzelnen Ursachen für einen Zeitabschnitt an und damit Hinweise für die vorzunehmenden Untersuchungen.

Sind für die bestehende Formalstruktur die Bedingungen erfüllt, kann aus der Synthese der sich hieraus ergebenden Liegezeiten eine Näherungsgrösse für die Werkstattbestände errechnet werden.

Die endgültige Ermittlung normierter Werkstattbestände erfordert jedoch die Untersuchung und Bestimmung der abgeleiteten Einflussfaktoren.

b) Die abgeleiteten Einflussfaktoren

aa) Die abgeleitete Einflussgrösse erster Ordnung

Die im vorigen Abschnitt besprochenen originären Einflussgrössen beeinflussen ihrerseits ein weiteres Kriterium der Ablaufplanung: die Reihenfolge der Bearbeitung der Arbeitsobjekte an einem Arbeitsplatz oder in einer Werkstatt. Die Reihenfolge der Bearbeitung ist das Ergebnis einer Leistungsabstimmung aller Arbeitssubjekte einer Werkstatt. Sie bestimmt als temporale Systhese die Durchlaufzeit der Arbeitsobjekte in dieser Werkstatt. [1] Die Kapazität einer Werkstatt und die arbeitsvorbereitenden Massnahmen formen den Rahmen, in dem die Reihung der Arbeitsgänge [2] die Durchlaufzeit der Arbeitsobjekte beeinflusst. Wird für eine Werkstatt unter gegebenen Bedingungen eine Bearbeitungsreihenfolge als optimal festgelegt, ist damit die Durchlaufzeit, die sich nunmehr aus optimierten Liege- und Bearbeitungszeiten zusammensetzt, ebenfalls optimiert. Jede Abweichung von der vorgegebenen Reihenfolge sprengt die optimale Reihenfolge-Bedingung und verursacht wegen der insgesamt höheren Durchlaufzeiten eine Erhöhung der Werkstattbestände. [3]

---

1) Kosiol =Organisation= 215.
2) Vgl. Kosiol =Organisation= 216.
3) Eine fehlende Terminüberwachung kann die gewählte Ordnungsfolge auch stören: Die gestörte Ordnungsfolge schlägt sich in den Liegezeiten nieder und die dadurch längeren Durchlaufzeiten erhöhen die Werkstattbestände.

Die Reihenfolge der Bearbeitung als Kombination und Synthese aller der die Durchlaufzeit (und damit Liegezeit) von Arbeitsobjekten bestimmenden Momente soll wegen ihrer Abhängigkeit von den originären Einflussgrössen als abgeleitete Einflussgrösse erster Ordnung bezeichnet werden.

Die Festlegung einer Bearbeitungsreihenfolge von Arbeitsobjekten in einer Werkstatt mit Einzel- und Serienfertigung stösst auf die bereits erwähnten Schwierigkeiten. Die Reihung muss nach objektiven Kriterien der Werkstatt festgelegt werden, damit als normierte Grösse die Abweichungen und deren Wirkungen auf die Liegezeiten bestimmt werden können.

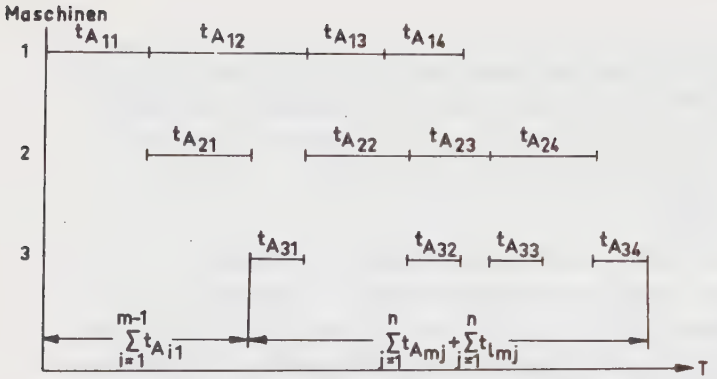
Die Möglichkeit der Normierung der abgeleiteten Einflussgrösse erster Ordnung bietet ein von Sokolizin [1] entwickeltes und von Kilian-Matthies [2] dargestelltes Verfahren. In diesem Verfahren wird eine Näherungslösung für eine optimale Reihung von n Arbeitsobjekten bei einer Bearbeitung auf m Maschinen gefunden.

Für eine Menge von n Teilen mit gleichartigem technologischem Ablauf und unterschiedlicher Zeitvorgabe je Arbeitsgang wird die Reihenfolge der Bearbeitung auf m Maschinen gesucht. Die aus den originären Einflussgrössen hergeleiteten Bedingungen sollen in diesem Falle als erfüllt gelten.

Die Teile durchlaufen während ihrer Bearbeitung die m Maschinen in gleicher Bearbeitungsreihenfolge. Die Bearbeitung des nächsten Teiles auf Maschine 1 (2.....m) erfolgt, wenn am vorhergehenden Teile die Bearbeitung beendet wird. Ein Bearbeitungsdiagramm für vier Teile auf drei Maschinen zeigt das folgende Schaubild.

---

1) Sokolizin =Abschnitte= 69 ff.
2) Kilian-Matthies =Mathematische Methoden= 69 - 78.



Bearbeitungsdiagramm für n=4 Teile auf m=3 Maschinen

Aus diesem Diagramm lässt sich ableiten, dass die Gesamtdauer T bestimmt wird durch die Bearbeitungsdauer des ersten Teiles auf Maschine 1 und 2 sowie der Bearbeitungsdauer aller Teile auf der dritten Maschine zuzüglich aller Stillstandszeiten der dritten (oder m-ten) Maschine.

Es ist für die Bearbeitung eine Reihenfolge zu finden, die für die m-te Maschine die geringsten Stillstandszeiten bei möglichst geringen Stillstandszeiten der vorhergehenden Maschinen ergibt. Allgemein formuliert, soll

$$(1) \quad T = \sum_{i=1}^{m-1} t_{A_{i1}} + \sum_{j=1}^{n} t_{A_{mj}} + \sum_{j=1}^{n} t_{l_{mj}} \stackrel{!}{=} \min$$

$t_{A_{il}}$ = Bearbeitungsdauer des 1-ten Teiles beim i-ten Bearbeitungsgang.

$t_{A_{mj}}$ = Bearbeitungsdauer des j-ten Teiles beim m-ten Bearbeitungsgang.

$t_{l_{mj}}$ = Stillstandszeit der m-ten Maschine vor der Bearbeitung des j-ten Teiles.

T wird zu einem Minimum, wenn

$$\sum_{i=1}^{m-1} t_{A_{i1}} + \sum_{j=1}^{n} t_{l_{mj}}$$ zu einem Minimum wird.

$t_{A_{mj}}$ ist durch die technische Bedingung bestimmt und kann durch organisatorische Massnahmen nicht verändert werden.

Für eine pausenlose Reihung von 3 Teilen auf zwei Maschinen kann folgende Bedingung aufgestellt werden:

Für Maschine 1 gibt es keine Stillstandszeiten, jedes Teil folgt unterbrechungslos dem vorhergehenden Teil.

Für Maschine 2 gibt es dann keine Stillstandszeiten, wenn für die Zeit der Bearbeitung des ersten Teiles auf Maschine 2 und der Bearbeitungszeit des zweiten Teiles auf Maschine 1 gilt

$$(2) \quad t_{A_{21}} - t_{A_{12}} \geq 0,$$

sowie für die Bearbeitungszeiten des zweiten Teiles auf Maschine 2 und des dritten Teiles auf Maschine 1

$$(3) \quad (t_{A_{21}} - t_{A_{12}}) + (t_{A_{22}} - t_{A_{13}}) \geq 0.$$

Für alle drei Teile gilt für eine unterbrechungslose Arbeit auf 2 Maschinen

$$(4) \quad (n-1)\cdot(t_{A_{21}} - t_{A_{12}}) + (n-2)\cdot(t_{A_{22}} - t_{A_{13}}) \geq 0.$$

Erweitert man die Forderung auf n Teile und m Maschinen, ergibt sich der generelle Ausdruck

$$(5)\quad (n-1)\cdot\sum_{i=2}^{m} t_{A_{i1}} - (n-1)\cdot\sum_{i=1}^{m-1} t_{A_{i2}} + (n-2)\cdot\sum_{i=2}^{m} t_{A_{i2}} \cdots \sum_{i=2}^{m} t_{A_{i,n-1}} - \sum_{i=1}^{m-1} t_{A_{in}} \geq 0$$

Aus der Ungleichung (5) erhält man durch Umformung und Zusammenfassung der einzelnen Glieder

$$(6)\quad \sum_{j=1}^{n-1} (n-j)\, t_{A_{mj}} - \sum_{j=1}^{n-1} (n-j)\, t_{A_{1,j+1}} - \sum_{j=2}^{m-1}\sum_{i=2}^{m-1} t_{A_{ij}} + (n-1)\sum_{l=2}^{m-1} t_{A_{i1}} - \sum_{i=2}^{m-1} t_{A_{in}} \geq 0$$

In der Ungleichung (6) werden am Anfang die letzte und die ersten Arbeitsoperationen gegenübergestellt. Sie lässt erkennen, dass die Summe der Arbeitsgangdauer auf der m-ten Maschine gross sein soll gegenüber der Dauer der Arbeitsgänge auf den Maschinen 1 bis m-1. Damit und auch wegen der nicht gleichlaufenden Indizierung ist eine Reihenfolgebestimmung noch nicht gegeben. Wenn es jedoch gelingt, die Formel so umzuformen, dass sich eine Gegenüberstellung von letzter und erster Arbeitsoperation eines Teiles ergibt, kann aus einem Vergleich der hieraus sich ergebenden Differenzen für alle Teile eine Schlussfolgerung für deren Reihung getroffen werden.

Der Lösungsalgorithmus besteht in einer Umformung der Ungleichung (6), bis die Gegenüberstellung der l^{ten} und j^{en} Auftragszeit für Maschine 1 bis m auf der linken Seite der Ungleichung steht.

Die Umformung von (6) erfolgt in dieser Weise:

(7) Für $\sum_{j=1}^{n-1} (n - j)t_{A_{mj}}$ kann auch $\sum_{j=1}^{n} (n - j)t_{A_{mj}}$

geschrieben werden (für $j = n$ wird der letzte Ausdruck $= 0$).

Der Ausdruck $\sum_{j=1}^{n-1} (n - j)t_{A_{1,j+1}}$ wird in $\sum_{j=1}^{n} (n - j)t_{A_{1j}}$

umgeformt:

Es sei

$$(8) \quad \sum_{j=1}^{n-1} (n - j)t_{A_{1,j+1}} - \sum_{j=1}^{n} (n - j)t_{A_{1j}} = y$$

Nach Auflösung und Umformung folgt aus (7)

$$(9) \quad y = - nt_{A_{11}} + \sum_{j=1}^{n} t_{A_{1j}} \text{ und für}$$

$$(10) \quad \sum_{j=1}^{n-1} (n - j)t_{A_{1,j+1}} = \sum_{j=1}^{n} (n - j)t_{A_{1j}} - nt_{A_{11}} + \sum_{j=1}^{n} t_{A_{1j}}.$$

Setzt man (7) und (10) in (6) ein, erhält man

$$(11) \quad \sum_{j=1}^{n} (n - j)\cdot(t_{A_{mj}} - t_{A_{1j}}) - \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{m-1} t_{A_{ij}} + n\cdot\sum_{i=1}^{m-1} t_{A_{i1}} \geq 0.$$

Mit Formel (11) ist nunmehr eine Reihenfolgebestimmung möglich. Sie stützt sich darauf, dass das Auftreten von Unterbrechungen mit zunehmender Grösse der linken Seite der Ungleichung geringer wird. Das hängt wiederum von der Grösse des Ausdruckes $(n-j)\cdot(t_{A_{mj}} - t_{A_{1j}})$ ab. Soll $\sum$ der Produkte dieses Ausdruckes gross sein, dann ist für $j = 1$ die maximale Differenz von $t_{A_{mj}} - t_{A_{1j}}$ zu bilden.[1)]

---

1) Die Bearbeitungszeiten sind reihenfolgeunabhängig. Maschinenausfälle sind abgeleitete Einflußgrößen zweiter Ordnung und als solche im Zeitablauf zu berücksichtigen.

Daraus lässt sich folgende Regel ableiten: Die Reihenfolge der Bearbeitung ist so zu wählen, dass an erster Stelle das Teil mit der grössten positiven Differenz von $t_{A_{mj}}$ zu $t_{A_{1j}}$ steht, an zweiter Stelle das Teil mit der nächst kleineren Differenz und so fort. Ein Beispiel für n = 4 Arbeitsobjekte auf m = 6 Maschinen zeigt Abbildung 1.

Diese Näherungsmethode wurde von Petrov [1] an 124 Beispielen mit j! möglichen Varianten mittels eines Rechners überprüft. Es zeigte sich, dass nur in 30 % aller Fälle die Näherungslösung Abweichungen aufwies, die Abweichungen selber betrugen nicht mehr als 6,5 %.

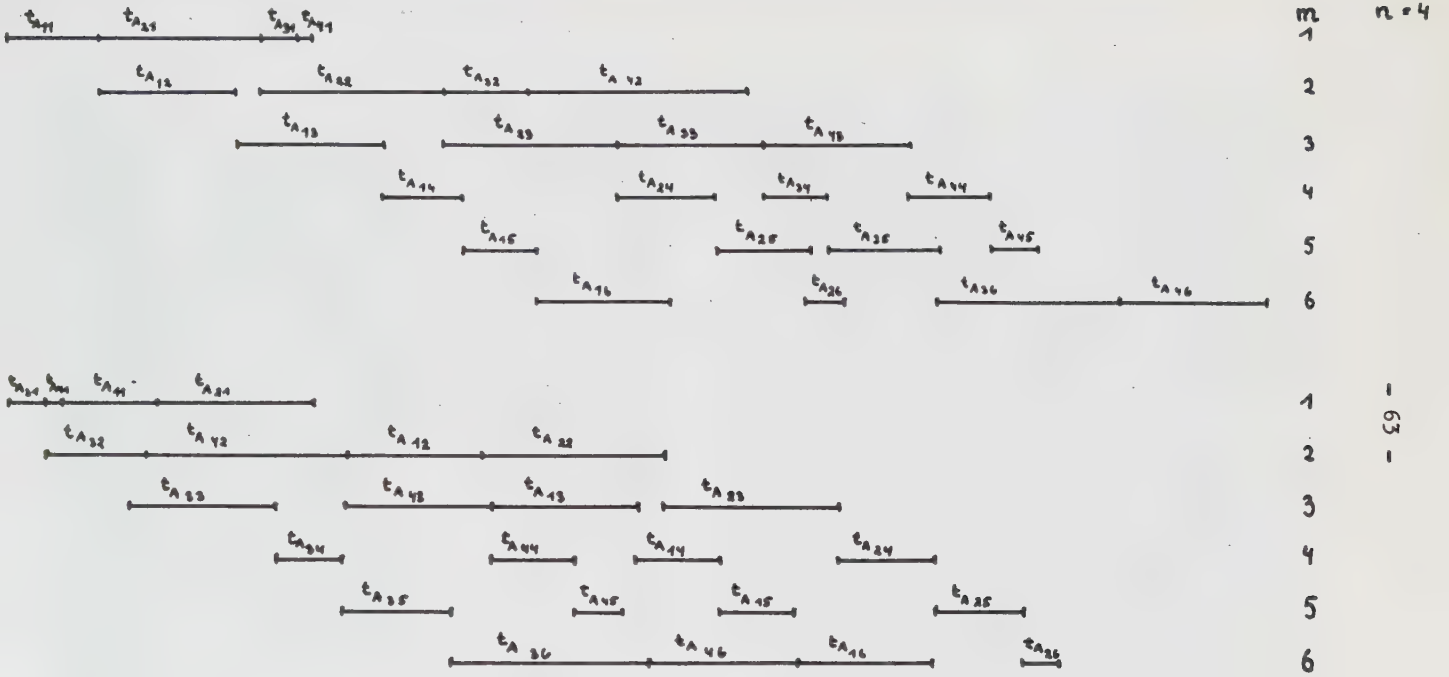
Die für Teile vorgeschlagene Methode kann auch auf Teilelose angewendet werden, wenn die Reihenfolge der Bearbeitung für alle Lose die gleiche ist. Für t_A ist dann die Summe der Bearbeitungszeiten jedes Teiles auf Maschine 1, 2.....m = T_A einzusetzen, die Bestimmung der Reihenfolge der Lose erfolgt wie oben geschildert. Die Methode behält auch dann noch ihre Gültigkeit, wenn Teile oder Lose nicht auf allen Maschinen eine Bearbeitung erfahren, solange die Reihenfolge der Bearbeitung für die einzelnen Maschinen gleich ist, zum Beispiel Los 1 auf den Maschinen 1, 2, 4, 5; Los 2 auf den Maschinen 2, 3, 4, 5; Los 3 auf den Maschinen 1, 2, 3, 4, 5.

Die Normierung der Bearbeitungsreihenfolge in der Einzel- und Serienfertigung kann auch durch andere Verfahren erfolgen. Normierung soll hier immer die Bedeutung haben, dass für die betreffende Werkstatt eine "temporale Synthese" [2] eine festumrissene Ordnung prägt.

---

1) Petrov =Zusammenstellung= 254.
2) Kosiol =Organisation= 215
vgl. Grochla =Unternehmungsorganisation= 78.

Reihung von Arbeitsobjekten nach dem Verfahren von Sokolizin



m	1	2	3	4	5	6	Differenz 6-1	Reihung
t_{A1}	50	75	80	45	40	75	25	3.
t_{A2}	90	100	95	55	50	20	-70	4.
t_{A3}	20	45	80	35	60	110	90	1.
t_{A4}	10	120	80	45	25	8	70	2.

Abbildung 1

bb) Abgeleitete Einflussgrössen zweiter Ordnung

Eine bestimmte Reihenfolge kann nur dann eingehalten werden, wenn die Arbeitsobjekte zum vorbestimmten Zeitpunkt am Arbeitsplatz eintreffen. Vielfach wird dieser Termin durch Störungen, die ihrerseits durch die Verhaltensweise der am Produktionsprozess beteiligten Elemente verursacht werden, nicht eingehalten. Diese "Störungen" sollen hier abgeleitete Einflussgrössen zweiter Ordnung genannt werden. Die Klassifizierung dieser Einflüsse als "Störung" kann nur so lange aufrechterhalten bleiben, bis ihr Auftreten und ihr Einfluss erkannt ist. Der Terminus "Verhaltensweise" deutet seinerseits auf einen nichtstationären Zustand im Zeitablauf hin. Dieses Verhalten wirkt sich als Einflussgrösse auf die Liegezeit erst dann aus, wenn es vom geplanten Zustand abweicht und in einer abgeleiteten Einflussgrösse erster Ordnung nicht erfaßt worden ist.

So kann eine Reihung für das Arbeitsobjekt a die zeitliche Festlegung der Bearbeitung auf Maschine A und B vorsehen. Maschine A sei einmal vorhanden, Maschine B in zwei Exemplaren, B_1 und B_2. A und B_1 sind für a festgelegt. Der Ausfall von B_2 ist für a ohne Bedeutung, dagegen beeinflusst ein Ausfall von A oder B_1 die Reihung und Arbeitsfolge von a.

Jede temporale Synthese muss unrichtige Ergebnisse bringen, wenn diese Störungen unberücksichtigt bleiben und damit nicht in die Struktur der Ablauforganisation eingehen. Mit zunehmendem Einsatz realtechnischer Arbeitsmittel wird das Einbeziehen von abgeleiteten Einflussgrössen zweiter Ordnung wichtiger.[1] Wenn es gelingt,

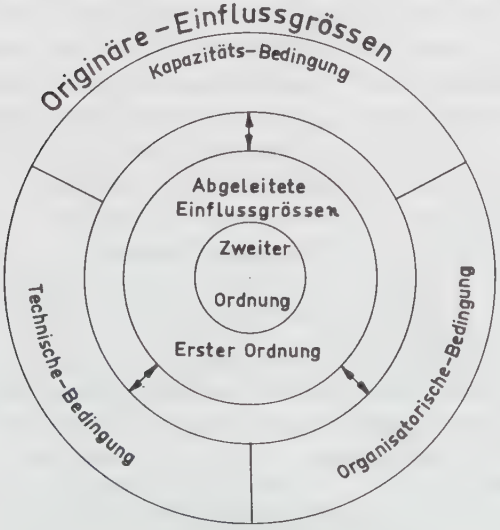
---

1) In einer Fliessfertigung mit überwiegend manueller Tätigkeit ist eine ausgefallene Arbeitskraft im allgemeinen ersetzbar. Der Ausfall einer Spezialmaschine dagegen kann für die Durchlaufzeit der Arbeitsobjekte von erheblichem Einfluss sein.

für diese Einflussgrössen quantitative Werte nach einem objektiven Maßstab zu finden, dann können sie in die Bestimmung der abgeleiteten Einflussgrösse erster Ordnung eingebettet werden. Der gesamte Komplex von abgeleiteten Einflussgrössen erster und zweiter Ordnung wird zu einer Synthese zeitlicher Bewegungs- und Arbeitsvorgänge geformt, in der die bisher willkürlich auftretenden Störungen in das zeitlich strukturierte Aktionsgefüge einbezogen worden sind.

5. Normierte Liegezeiten und ihre Verwendung zur Bestimmung des Grades der Werkstattorganisation

Fasst man noch einmal alle Einflussgrössen auf die Liegezeit von Arbeitsobjekten in einer Werkstatt mit Einzel- und Serienfertigung zusammen und stellt sie zeichnerisch dar, erhält man folgendes Schaubild:



Darstellung der Einflussgrössen auf die Liegezeit von Arbeitsobjekten

Der äußere Ring wird durch die originären Einflußgrößen Kapazitäts-Bedingung, technische Bedingung und organisatorische Bedingung bestimmt. Alle drei Größen erhalten nach den geschilderten Maßstäben eine Normierung für eine räumlich abgegrenzte Werkstatt. [1] Sie haben einen mehr oder weniger stationären Charakter im Zeitablauf, eine Änderung der Norm einer Größe beeinflußt die beiden anderen Größen so lange, bis sich wieder ein gleichgewichtiger Zustand zwischen allen drei Größen ergibt [2]; Sie befinden sich wieder in einem labilen Gleichgewicht.

Die drei originären Einflußgrößen wirken auf die abgeleitete Einflußgröße erster Ordnung ein, die ihrerseits die abgeleitete Einflußgröße zweiter Ordnung in ihre Struktur aufnehmen muß. So beeinflußt zum Beispiel eine Engpaßkapazität in einer Werkstatt die Bearbeitungsreihenfolge aller sie durchlaufenden Arbeitsobjekte direkt und die Bearbeitungsreihenfolge aller anderen Arbeitsobjekte in dieser Werkstatt indirekt. Die Güte der arbeitsvorbereitenden und organisatorischen Maßnahmen kann diesen Einfluß regulieren, was wiederum von Bedeutung für die Bearbeitungsreihenfolge ist und damit die Liegezeiten der Arbeitsobjekte verändert. Sind die abgeleiteten Einflußgrößen zweiter Ordnung erfaßbar und quantitativ bestimmbar, sind auch die abgeleiteten Einflußgrößen in ihrer Gesamtheit überschaubar. Das Einbeziehen der abgeleiteten Einflußgrößen zweiter Ordnung (z.B. der zeitweilige Ausfall der Engpaßkapazität) erfordert in Abhängigkeit von den originären Einflußgrößen eine Neuordnung der Bearbeitungsreihenfolgen.

So formt sich aus allen fünf Größen das normierte Feld von Beeinflussungen der Liegezeit, oder anders gesagt: Jede in einer Werkstatt auftretende Liegezeit, deren fünf

---

1) Wegen der je nach Unternehmung und Produktionsstruktur unterschiedlichen Optimalitätskriterien können im Rahmen dieser Arbeit nur allgemeine Richtwerte als Normierungsmaßstäbe angegeben werden, denen die originären Einflußgrößen generell genügen müssen, um die Voraussetzung der Normierung (Optimierung) zu erfüllen.

2) Dieser Zustand ist nicht notwendigerweise auch der optimale.

Einflußgrößen normiert sind, ist ebenfalls normiert. Aus den technologisch bestimmten Arbeitszeiten, dem Materialaufwand und den normierten Liegezeiten je Werkstatt nach der Formel (14) auf Seite 46 werden normierte Werkstattbestände errechnet. Diese Werkstattbestände sind dann nach den gegebenen Voraussetzungen Ausfluß der normierten Größen und damit der Organisation der Werkstatt adäquat.
Damit ist es auch möglich, dem Vorschlag Vormbaum's folgend, einen Organisationsgrad zu bestimmen und die Höhe der jeweiligen Werkstattbestände als Maßstab dafür zu wählen. Analog zum Beschäftigungsgrad wird der Quotient

$$\frac{\sum \text{vorhandene Werkstattbestände}}{\sum \text{der normierten Werkstattbestände}}$$

gebildet.

Dieser Quotient kann nunmehr dem Kapazitätsausnutzungsgrad als Korrekturfaktor hinzugefügt werden. Sein reziproker Wert wird mit Ω bezeichnet und stellt einen Maßstab für die Organisation der Werkstatt dar. Als Beispiel sei eine Werkstatt für die Herstellung elektrotechnischer Bausteine angeführt. [1)]

Normierter Werkstattbestand	85.000,-- DM
Tatsächlicher Werkstattbestand	107.310,-- DM

Organisationsgrad $\Omega = \frac{85000}{107310} = 0{,}79$

Nach dem Auswechseln einer sehr störanfälligen Maschine konnte der Organisationsgrad auf 95 % verbessert werden.

Für die Bestimmung normierter Werkstattbestände entstehen für eine Einflußgröße jedoch besondere Probleme. Die Schwierigkeit liegt in der Bestimmung der Einflußgrößen zweiter Ordnung. Ihre Ermittlung wird erst durch die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung möglich.

III. Die Ursachen abgeleiteter Einflußgrößen zweiter Ordnung und die Methoden ihrer Quantifizierung

Als abgeleitete Einflußgrößen zweiter Ordnung wurden Störungen des gereihten Ablaufprozesses bezeichnet. Sie

1) Aus einer Untersuchung des Verfassers.

sind der Ausfluss von Fehlern unterschiedlichster Art. Fehler sind Tatbestände, die zu wirtschaftlichen oder technischen Fehlleistungen führen und damit zu Einflussgrössen zweiter Ordnung werden. Das Auftreten dieser Tatbestände ist willkürlich, das heisst, das Eintreten des Ereignisses ist indeterminiert. Das einmalige indeterminierte Auftreten eines Ereignisses ist als Zufall zu bezeichnen, tritt das gleiche Ereignis indeterminiert in einer losen Folge auf, entsteht ein zufälliger Prozess.

Die Fehlerarten, die einen Einfluss der oben bezeichneten Art auf den Ablauf des Arbeitsprozesses haben, können in vier Gruppen eingeteilt werden:

1. Die menschlichen Fehler,
2. Maschinenfehler,
3. Methodenfehler (Verfahrensfehler) und
4. Materialfehler.

Der in diesem Zusammenhang benutzte Ausdruck Fehler muss vom statistischen Fehler streng getrennt werden.[1] Die hier auftretenden Fehler haben ihre Ursache nicht in einer unrichtigen Wiedergabe richtiger Tatbestände (zum Beispiel lochen der Zahl 9 für eine geschriebene Zahl 8), sondern tragen den Charakter eines Eigenschaftsbegriffes. Die Unzulänglichkeit, die Unvollkommenheit, die Fehlerhaftigkeit sind integrierte Merkmale des beobachteten Gegenstandes oder Vorganges: der Fehler ist Wesensbestandteil des betrachteten Objektes (Vorganges).[2]

So sind menschliche Fehler auf die Vielfältigkeit des menschlichen Verhaltens und menschlicher Bewegungsvorgänge zurückzuführen. Ein Abweichen von einem bestimmten

---

1) Zum statistischen Fehler siehe Anderson =Probleme= 80 ff.
2) Vgl. dazu Erisman =Wahrscheinlichkeit= 203 ff
Morgenstern =Genauigkeit= 38 ff.

Toleranzbereich bei der Bearbeitung eines Arbeitsobjektes zum Beispiel erfüllt den Tatbestand des Fehlers und wird dann zur Einflussgrösse zweiter Ordnung. Die Fehlerzahl sinkt mit steigender Mechanisierung.

Bei einer Gliederung der Fehlerursachen für Maschinenausfälle lassen sich alle Ursachen auf zwei Haupttypen zurückführen:

Altersbedingte Ausfälle und
zufällige Ausfälle.

Auch bei diesen beiden Haupttypen ist eine Interdependenz nicht zu leugnen: Ein altersbedingter Ausfall kann durchaus zufällig sein, wenn er nicht innerhalb des durch die konstruktiven und technologischen Merkmale festgelegten Zeitraumes erfolgt.[1)] Damit schält sich der Begriff zufällige Ausfälle als Bezeichnung für alle diejenigen Ausfälle heraus, die unerwartet und unvorhergesehen im Zeitablauf auftreten. Das Zusammenwirken einer Vielzahl originärer Komponenten macht es fast unmöglich, jeden Fehler auf die einzelnen Ursachen zu analysieren. Im Ergebnis bleiben Fehlerursachen bestehen, die wegen einer untrennbaren Verbundenheit mehrerer Grundursachen als Fehlerursachen höherer Ordnung bezeichnet werden müssen.

Methoden (Verfahren) umfassen als Oberbegriff für die technologischen Abläufe auch die Hilfsmittel für die Durchführung der Arbeitsoperationen, also auch Werkzeuge. Fehler bei der Aufstellung der Arbeitspläne (zum Beispiel die unzureichende Koppelung eines Werkzeuges mit der die Arbeitskraft liefernden Maschine) haben Störungen im Arbeitsprozess zur Folge. Es treten häufig Kombinationen

---

1) Streng genommen gibt es keine zufälligen Fehler: jeder Fehler ist das Ergebnis einer sich zu einem Fehler verdichtenden Kausalkette, deren Einzelglieder ihrerseits wiederum Ergebnis einer verdichteten Kausalkette sein können.

von menschlichen und anderen Fehlern auf. Diese wirken sich als kombinierte Einflüsse auf die Ereignishäufigkeit aus und sind schwer in die Komponenten der Einzelursachen zu zerlegen. Die Notwendigkeit einer Zerlegung in die verschiedenen Ursachen hängt von der Zielsetzung ab.

Eine analoge Aussage kann für die Ausfallursachen bei Materialien getroffen werden. Hier wird in der Literatur für den zeitlichen Verlauf der Ausfälle oft die sogenannte Badewannenkurve zugrundegelegt [1], deren Anwendung jedoch bedenklich ist. Diese Kurve kann durchaus das Ergebnis der Überlagerung von zwei oder mehr Abhängigkeiten sein [2], so dass auch hier Fehlerursachen höherer Ordnung auftreten.

Abgeleitete Einflussgrössen zweiter Ordnung führen im Produktionsprozess zu Problemen, die durch Rentabilitätsüberlegungen gelöst werden müssen. So wird eine Anlage, die hohe Investitionskosten erfordert, erst bei einem hohen Ausnutzungsgrad wirtschaftlich. Mit grösserem Nutzungsgrad wird die mögliche Störanfälligkeit grösser. Hier muss die Entscheidung getroffen werden, ob die dem jeweiligen Fertigungsprozess technisch angepasste Anlage in ihren Leistungen überdimensioniert werden soll und damit höhere Kosten verursacht, oder ob es sinnvoller ist, die Ausfälle als abgeleitete Einflussgrössen zweiter Ordnung im voraus zu ermitteln und in das Aktionsgefüge des Fertigungsprozesses mit einzubeziehen. Diese Frage kann in vielen Fällen nur von der Unternehmensleitung entschieden werden. Häufig ergibt sich auch die Frage, ob den Ursachen dieser Einflussgrössen in jedem Fall nachgegangen werden muss oder ob das Auftreten von Störungen als Bestandteil eines Fertigungsprozesses in die Ablaufgestaltung mit aufgenommen wird.

---

1) Vgl. Wilde =Bestimmung= 115.
2) Zum Beispiel eine konstante Ausfallrate wird anfangs durch Frühausfälle und nach einiger Zeit durch Alterungsausfälle überlagert.

Störungen des gereihten Ablaufprozesses sind zukünftige Ereignisse, deren Eintreten ungewiss und unerwünscht ist. Gesucht wird eine quantitative Kennzeichnung der Wahrscheinlichkeit für eine bestimmte Anzahl von Ausfällen in der Zeit $t + \Delta t$, wenn das Aggregat oder System bis zum Zeitpunkt t ohne Ausfall gearbeitet hat. Anders ausgedrückt: Wie häufig erfolgt die Störung eines gereihten Ablaufprozesses durch abgeleitete Einflussgrössen zweiter Ordnung im Zeitraum T und welche Unterbrechungsdauer muss dabei veranschlagt werden?

Hilfsmittel für diese quantitative Kennzeichnung sind die Wahrscheinlichkeitsrechnung und die mathematische Statistik. Durch das Beobachten von Grundgesamtheiten oder Stichproben von Grundgesamtheiten werden Ereignishäufigkeiten ermittelt. Diese müssen dann auf die für sie gültige Wahrscheinlichkeitsfunktion untersucht werden. Ist das dafür zutreffende Gesetz gefunden, können die damit erfaßten abgeleiteten Einflussgrössen zweiter Ordnung als normierte Werte denen erster Ordnung hinzugefügt und so in die Reihung der Arbeitsobjekte einbezogen werden.

Mit den nunmehr normierten originären und abgeleiteten Einflussgrössen ist für eine abgegrenzte Werkstatt ein Werkstattbestand definiert, der zum Ausgangspunkt eines normierten Organisationsgrades genommen werden kann.

In den folgenden Abschnitten werden die im industriellen Arbeitsprozess auftretenden Wahrscheinlichkeitsfunktionen beschrieben. Es werden die für verschiedene Fehler geltenden Verteilungsgesetze kurz erörtert und Möglichkeiten für ihre Ermittlung und Anwendung dargestellt.

C. Die Wahrscheinlichkeitsfunktion im industriellen Arbeitsprozess

I. Wahrscheinlichkeitsfunktionen bei menschlichen Arbeitsverrichtungen und den dabei auftretenden Fehlern

Für die Arbeitsprozesse bilden die menschlichen Handlungen den primären Inhalt. Die Ergebnisse aus diesen Arbeitsprozessen stehen, je nach der Art der Übertragung der menschlichen Verrichtungen auf die eigentlichen Arbeitsvorgänge, in einem mehr oder weniger direkten Verhältnis zum Menschen. Die Grenzen, bis zu denen menschliche Einwirkungen nachgewiesen werden können, sind fließend, der menschliche Einfluss auf die Arbeitsergebnisse hört erst mit dem Vollautomatismus auf.

Für die Häufigkeitsverteilung der Werte von Arbeitsergebnissen, die von menschlichen Verrichtungen beeinflusst werden, wird oft das Verteilungsgesetz der Normal-Verteilung vorausgesetzt. Diese Annahme wurde durch anthropologische Untersuchungen, bei denen die Häufigkeit der Einzelwerte um das arithmetische Mittel vielfach normal verteilt war, gestützt. Jüngere Forschungsergebnisse haben jedoch nachgewiesen, dass dieses Verteilungsgesetz keineswegs immer zutrifft [1] und auch für menschliche Bewegungsvorgänge keine generelle Gültigkeit hat.

Prüft man jedoch die Unterlagen der statistischen Qualitätskontrolle in Betrieben mit überwiegend manuellen Tätigkeiten, dann ergibt sich in zahlreichen Fällen die

---

1) Vgl. dazu Weber =Grundriss= 113 - 114.
Historisches zur Normalverteilung in:
Wallis =Statistik= 297 - 298.
Cantor =Historische Notizen= 365.
Eine Deutung zum Fehlergesetz findet sich in
Anderson =Probleme= 94, 95, 119 - 120.

Gültigkeit einer numerischen Normalverteilung für die Fehlerhäufigkeiten von Arbeitsergebnissen. [1]

Eine Erklärung für dieses Phänomen könnten die folgenden Überlegungen geben:
Jede menschliche Verrichtung kann auf eine Bewegung zurückgeführt werden, die ein Organ oder ein Muskel beziehungsweise eine Muskelgruppe vollführt. Das gilt für alle Extremitäten wie auch für die Bewegungen des Auges. Für jeden Bewegungsvorgang werden eine Anzahl von Muskeln und Muskelgruppen tätig. So treten bei einer gleichmässigen Bewegung in einer Richtung sowohl Muskelgruppen im Sinne der Bewegungsrichtung in Aktion als auch gegenläufige Gruppen zur Steuerung und Versteifung des Bewegungsablaufes. [2] Die Wirkung jeder Muskelgruppe nimmt mit zunehmender Ermüdung ab. Die zeitliche oder kräftemässige Abweichung eines für den Bewegungsablauf notwendigen Muskels oder einer Muskelgruppe führt zu einem Abweichen vom gewünschten Bewegungsziel [3], das nur mit dem exakten Zusammenspiel aller am Bewegungsablauf beteiligten Muskelkräfte korrekt erreicht werden kann. Dieses additive Zusammenwirken positiver oder im Sinne der Bewegungsrichtung negativer Einflüsse ergibt eine Folge stetiger Merkmale für die beobachteten Häufigkeitswerte von Ergebnissen eines gleichen und ständig wiederholten Bewegungsvorganges. [4]

Ein Abweichen vom gewünschten Bewegungsziel kann als Fehler eines für den Bewegungsablauf verantwortlichen Muskels angesehen werden. Diese Fehlerursache kann ihrerseits nur ein- und denselben positiven oder nega-

---

1) Vgl. dazu auch Anderson =Probleme= 91.
Häufig wird dafür auch der Lexis'sche Dispersionsquotient als Beweis herangezogen.

2) Vgl. dazu Lehmann =Arbeitsphysiologie= 18 ff.

3) Das Bewegungsziel kann sowohl eine Zeit- als auch eine Raumüberbrückung beziehungsweise beides sein.

4) Vgl. dazu Pfanzagl =Methodenlehre= I-15.

tiven absoluten Fehler bei gleicher durchschnittlicher Häufigkeit der beiden Abweichungsrichtungen bewirken.

Setzt man die Zahl der am Bewegungsvorgang beteiligten Muskelgruppen [1] mit n an, dann lassen sich die relativen Häufigkeiten der absoluten Fehler aus dem Binomen $(\frac{1}{2} + \frac{1}{2})^n$ entwickeln. Damit gelangt man zu einer Näherungsformel für die Normalverteilung [2].

Die vorangegangenen Ausführungen lassen sich auf die menschlichen Bewegungsvorgänge im industriellen Arbeitsprozess erweitern, soweit der gleiche Bewegungsablauf ständig wiederholt wird. Bei einer genügend großen Zahl von Merkmalswerten für eine Bewegung wird das arithmetische Mittel aus der Summe aller Ergebnisse häufiger auftreten als alle anderen Werte, die sich infolge der zahlreichen additiven Einflüsse mit stetigen Merkmalen in Form einer glockenförmigen Häufigkeitskurve um das arithmetische Mittel gruppieren. [3] Eine solche Häufigkeitsverteilung folgt im allgemeinen dem Gesetz der Normalverteilung.

Man kann somit die Normalverteilung als das additive Gestaltungsprinzip für die Ergebnisse aus stetigen Wiederholungen menschlicher Bewegungsvorgänge bezeichnen. [4]

---

1) und damit der Fehlerursachen.
2) Anderson =Probleme= 93-94, 247 - 249.
Vgl. dazu auch Pfanzagl =Methodenlehre= II, 27 ff.
3) Ein bekanntes Beispiel dafür sind die von Menschen mit Hilfsgeräten ausgeführten Messvorgänge und die dabei ermittelten Ergebnisse.
4) So auch Gebelein =Urteilsbildung= 32.
Diese Schlussfolgerung kann auch abgeleitet werden aus der Basis aller Teilzeitsysteme (MTM usw.), die die Summe aller Einzelzeiten von Bewegungselementen gleich der Gesamtheit des komplexen Bewegungsvorganges setzen.
Vgl. dazu auch Schmidtke/Stier =Bewegungsabläufe=, insbesondere 10 -13.

Diese Schlussfolgerungen werden durch empirische Untersuchungen von Daeves bestätigt. [1)]

1) Daeves =Grosszahlforschung= 26 ff
=Grosszahl-Methodik= 36 ff.
Wenn die gemessenen Kurven dem Gesetz der Normalverteilung nicht genügen, dann ist die Frage zu stellen, ob generell die Messwerte der Verteilung nicht folgen oder ob nur durch die Vereinfachung des Stirling'schen Integrales die Folgeglieder der Potenz von e eine Verschiebung bewirken (vgl. dazu auch Berger =Verbesserung= 69). Gelegentlich werden allerdings die Häufigkeitsverteilungen von Ergebnissen zur Vereinfachung der Auswertung der Normalverteilung angepasst.

II. Wahrscheinlichkeitsfunktionen für die Ereignishäufigkeit von Fehlern bei Arbeitsmitteln

In analoger Form zu den menschlichen Bewegungsvorgängen werden die Leistungen technischer Aggregate von einer Vielzahl von Einzelteilen und Unteraggregaten und deren kombinativem Zusammenwirken bewirkt. Die Kombination kann aus Addieren, Multiplizieren und Dividieren von Arbeitselementen und Bewegungsvorgängen bestehen.[1)]

Die für Störungen und Ausfälle von Maschinen gültigen Verteilungsgesetze erhält man aus einer statistischen Datenerfassung. Die daraus gewonnenen Häufigkeitsverteilungen führen zu den Gesetzmässigkeiten sogenannter Lebensdauerverteilungen. Die aus Stichproben gewonnenen Häufigkeitswerte von Ausfallereignissen an beobachteten Aggregaten erhalten durch ihre Anwendung auf die Erwartung zukünftiger Ereignisse einen Wahrscheinlichkeitswert.

Die Auswertung solcher Lebensdauerverteilungen gibt Informationen über notwendige Instandhaltungen, Ersatzteilbeschaffungen und deren Lagerhaltung. Weiterhin sind Hinweise auf Beeinträchtigungen des Fertigungsablaufes zu erhalten, die zur Bildung von vergrösserten organisatorischen Lagern in der Fertigung führen.

Unter den verschiedenen Gesichtspunkten werden Lebensdauerverteilungen vom Techniker und vom Betriebswirt unterschiedlich beurteilt. Ein Konstrukteur wird unter der Lebensdauer einer Maschine die Zeitdauer vom Beanspruchungsbeginn bis zum Totalausfall verstehen. Hier muss zudem noch differenziert werden nach einer ununterbrochenen

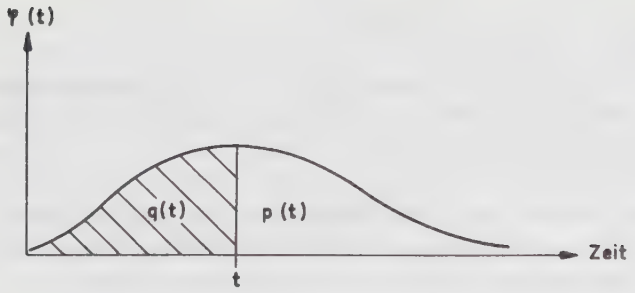
---

1) Jedes Getriebe, das eine Drehbewegung in andere Dreh- oder Linearbewegungen übersetzt, kombiniert eine Vielzahl von Einzelbewegungen entweder multiplikativ (z.B. Übersetzungen ins Schnelle) als auch additiv oder dividierend. Beispiele für die Kombination von Arbeitselementen finden sich besonders in der modernen Elektronik (Vgl. dazu auch Kao =life-testing=).

Beanspruchung und einer solchen, die den Zyklen eines Betriebsablaufes entspricht.[1] Es muss die Frage nach der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Aggregat unter gegebenen Bedingungen eine vorgesehene Zeitspanne ohne Ausfall arbeitet, beantwortet werden.

Bei der Ermittlung der wahrscheinlichen Unterbrechungszeiten im Fertigungsprozess lautet das Problem: Wie gross ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Aggregat, das bis zum Zeitpunkt t gearbeitet hat, im Zeitpunkt $t + \Delta t$ ausfällt?

Die folgende Figur sei eine Ausfall-Verteilung von elektronischen Bauelementen (zum Beispiel Transistoren) eines Aggregates:



Darin ist q(t) die daraus abgeleitete kumulative Ausfallwahrscheinlichkeit

$$q(t) = \int_{o}^{t} \varphi\,(t)dt$$

und p(t) die Überlebenswahrscheinlichkeit

$$p(t) = \int_{t}^{\infty} \varphi\,(t)dt = 1 - \int_{o}^{t} \varphi(t)dt, \text{ denn}$$

$$p(t) + q(t) = 1.$$

---

1) Beispiele für dauernde Beanspruchung liefern Bauteile von Raketen und Satelliten. Einer unterbrochenen Beanspruchung unterliegen zum Beispiel Maschinen im Fertigungsprozess.

Beide Kurven sind jedoch für Lebensdauerbetrachtungen ungebräuchlich. Häufiger wird mit der Ausfallrate oder Ausfallintensität gearbeitet. Die Ausfallintensität ist als die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Ausfalles in der nächsten Zeiteinheit definiert.

Die Zahl der Ausfälle im Zeitintervall dt beträgt $\varphi(t)dt$, die Zahl der nach dem angenommenen oder ermittelten Verteilungsgesetz verbleibenden, nicht ausgefallenen Einheiten $p(t) = 1 - \int_0^t \varphi(t)dt$. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Ausfalles im Grenzintervall dt beträgt

$$\frac{\varphi(t)dt}{p(t)} \quad .$$

Dividiert man diese Gleichung durch dt, erhält man die Funktion der Ausfallintensität

$$g(t) = \frac{\varphi(t)}{p(t)} \quad .$$

Für die beobachteten oder angenommenen Verteilungsgesetze werden diese Werte ermittelt und die Kurven zu Vergleichszwecken herangezogen.

Bei einer Analyse von Ausfallursachen muss unterschieden werden zwischen Ausfällen, die auf Verschleiss- oder Ermüdungserscheinungen beruhen und zufälligen Ausfällen.

Grundgesamtheiten oder Stichproben für die Ermittlung von Häufigkeitswerten für Verschleiss- und Ermüdungsausfälle haben als Merkmalswert eine Zeitgrösse. Für die Zeit können kleine Intervalle gewählt werden, es ergibt sich eine stetige Merkmalsfolge. Die dynamische Beanspruchung der Maschinenteile von leistungsfähigen Aggregaten trägt dazu bei, dass die Merkmalswerte um einen Mittelwert streuen.

In der technischen Literatur wird vielfach für das

Verteilungsgesetz von technologischen Fehlerursachen die Gültigkeit der Normalverteilung unterstellt. Das liegt zum Teil daran, dass viele Praktiker überzeugt sind, die unbeschränkte Gültigkeit dieses Verteilungsgesetzes sei durch die Mathematiker bewiesen. Diese wiederum sind der Auffassung, die Anwendbarkeit des Verteilungsgesetzes sei in der Praxis experimentell festgestellt.[1] Zudem erscheint es dem Praktiker vorteilhaft, dass es für die Normalverteilung zahlreiche Tabellen und Behandlungsregeln gibt, die die Bearbeitung des statistischen Materials erheblich vereinfachen.

Die numerische Normalverteilung ist wegen ihrer Grenzen von - ∞ bis + ∞ für die Verteilung von Ausfallhäufigkeiten nicht ohne formale Bedenken anwendbar, da es eine Ausfallintensität $g(t) \geq -\infty$ nicht geben kann.[2]

Aus diesen Gründen und wegen der häufig schiefen Verteilungen wird die logarithmische Normalverteilung vorgezogen. Analog zu der additiven Gestaltungshypothese der numerischen Normalverteilung[3] kann für die logarithmische Normalverteilung eine multiplikative Fehlerhypothese angenommen werden: um den geometrischen Mittelwert scharen sich multiplikativ unendlich viele und unendlich kleine Fehlerelemente.[4]

Eine logarithmische Normalverteilung entsteht dadurch, dass für die Beobachtungswerte x nicht deren numerischer Wert, sondern deren Logarithmus normalverteilt ist. Die allgemeine logarithmische Transformation ergibt allerdings eine komplizierte Formel.[5]

---

1) Gnedenko =Nachprüfung= 98.
2) Vgl. dazu auch Pfanzagl =Methodenlehre= II, 41, Anderson =Probleme= 95, Stange =Abgangslinie= 120.
3) Siehe Seite 44
4) Vgl. dazu Wartmann =Bemerkungen= 152, Gebelein =Logarithmische Normalverteilung= 155 ff.
5) Vgl. dazu Wartmann =Bemerkungen= 153.

Die ausgedehnte Formel kann vereinfacht werden, indem man die logarithmische Normalverteilung einer numerischen Normalverteilung annähert. Die Grenze, bis zu der eine Approximation durch die tabellierten Werte der numerischen Normalverteilung erfolgen darf, ergibt sich aus einer Extremwertrechnung, die zu einem Variationskoeffizienten $V \approx \frac{\sigma}{\bar{x}} \approx 0{,}10$ führt.[1)]

Alle darüber hinausgehenden Werte müssen dann mit einer Transformationsformel umgerechnet werden.

Während für die Ausfallhäufigkeiten, die in altersbedingten Verschleiss- oder Ermüdungserscheinungen ihre Ursache haben, vielfach Vergleichskurven aus historischen Lebensdauer-Untersuchungen zur Verfügung stehen, müssen für die Zufallsausfälle die entsprechenden Häufigkeitsverteilungen immer wieder neu ermittelt werden. Zufallsausfälle treten während der Einsatzdauer und Beanspruchung eines Gerätes oder einer Maschine auf, in der noch keine Verschleiss- oder Ermüdungserscheinungen auftreten können. Sie lassen sich im allgemeinen darauf zurückführen, dass die Beanspruchung grösser als erwartet und zufällig auftritt oder die dynamische Belastbarkeit der Maschine und von Maschinenteilen zufällig überschritten wird.[2)] Es können auch Kombinationen beider Momente auftreten.

Praktisch sind diese Ursachen schwer oder gar nicht auseinanderzuhalten. Bei einer Untersuchung von Zufallsausfällen sollte aber auf eine Analyse der unterschiedlichen Beanspruchungsgrössen nicht verzichtet werden.

Die Ermittlung von Häufigkeitsverteilungen für Zufalls-

---

1) Wartmann =Bemerkungen= 157 ff.
2) Zufallsausfälle sind nicht nur der Streuung der beanspruchten Aggregate zuzuschreiben, sondern auch der Streuung ihrer Belastung.

ausfälle stösst wegen der fast immer kleinen Stichproben auf Schwierigkeiten. Eine weitere Erschwerung ergibt sich aus der Unsicherheit der Erfassung und Berechnung der meist sehr kleinen Wahrscheinlichkeitswerte.

Die Charakteristik vieler dieser zufälligen Versagensereignisse basiert auf Verteilungen mit diskreten Merkmalswerten. Die Zeit t wird dabei zum Parameter.

Die ausser der logarithmischen Normalverteilung für Ausfallursachen und Lebensdauerverteilungen relevanten Verteilungsgesetze sollen kurz skizziert werden.

Unter der Voraussetzung, dass
1) das Entstehen eines Ereignisses unabhängig von der Zahl der schon eingetretenen Ereignisse ist,
2) in der differentiell kurzen Zeit dt nur ein oder kein Ereignis eintreten darf und
3) die Wahrscheinlichkeit dafür, dass in dt ein Ereignis eintritt, proportional dt sei

formulierte Poisson das Gesetz für die Wahrscheinlichkeit

$$f(x) = \frac{\lambda^x}{x!} \cdot e^{-\lambda}$$, wobei λ eine

nicht-negative Konstante ist.[1)]

Die Poisson-Verteilung ist ein auf viele technische oder physikalische Ereignisfolgen zutreffendes Verteilungsgesetz.[2)] Sie beschreibt zum Beispiel mit guter Annäherung die Versagenswahrscheinlichkeit einer Anzahl von Bauelementen eines Systems im Zeitintervall (0,t), wenn für jedes Element die gleiche Versagenswahrscheinlichkeit in der Zeiteinheit besteht und diese Wahrscheinlichkeit unabhängig vom Zustand der anderen Bauelemente ist.

---

1) Vgl. dazu Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 124 ff.
2) Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 127,
Pfanzagl =Methodenlehre= II, 25.

Folgt die Wahrscheinlichkeit für den Ausfall von Komponenten eines Systems einer Poisson-Verteilung und ist für den Ausfall des Systems der Ausfall von x Komponenten hinreichend und notwendig, dann ist die Wahrscheinlichkeit für den Ausfall des Systems in der Zeit (t, t + dt):

$$dF(t) = \frac{\lambda^x}{\Gamma(x)} \cdot (\lambda \cdot t)^{x-1} \cdot e^{-\lambda t} \, dt \, .$$

Erweist sich der Systemausfall Γ-verteilt, muss der Parameter x ganzzahlig ausfallen.[1)]

Gilt für einen diskreten stochastischen Prozess $(X_t; 0 \leq t < \infty)$ bei unabhängigen Zuwächsen und den Zuständen x=1,2,3... für einen beliebigen Punkt $t(0 \leq t < \infty)$ die Beziehung

$$P(X_t = x) = \frac{(\lambda t)^x}{x!} \cdot e^{(-\lambda t)} \, ,$$

dann wird dieser Prozess als homogener Poisson-Prozess bezeichnet. Er findet seine Anwendung in der Theorie der Wartesysteme.[2)]

Bei einer Reihe von praktischen Untersuchungen ergab sich eine konstante Ausfallintensität von verschiedenen Aggregaten über die Zeit.[3)] Eine konstante Ausfallintensität über die Zeit wird durch die Exponentialverteilung mit der Dichte

$$f(x) = \lambda \, e^{-\lambda x}$$

gegeben.[4)] Diese wiederum wird häufig aus der Poisson-Verteilung durch die Vertauschung von Variabler und Parameter hergeleitet.[5)]

---

1) Vgl. dazu Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 135.
2) Vgl. dazu Ferschl =Wirtschaftsprozesse=.
3) Vgl. dazu Davis =Analysis=.
4) Vgl. dazu Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 136.
5) Die in der Praxis häufig auf diese Weise erklärte Herleitung einer Exponentialverteilung muss kritisch betrachtet werden.

Die sich aus der Exponentialverteilung ergebende konstante Ausfallrate setzt eine über die Zeit der Beanspruchung gehende konstante Widerstandsfähigkeit der beanspruchten Objekte bei gleichmäßiger Beanspruchung voraus. Dennoch gilt die Exponentialverteilung für viele Anwendungsbereiche als gute Näherungslösung. [1)]

Bei Festigkeitsversuchen an Stählen wurde von Weibull die Beobachtung gemacht, dass sich die Ausfallrate über die Zeit in gesetzmäßiger Weise ändert. Die nach ihm benannte Weibull-Verteilung stellt eine Erweiterung der Exponentialverteilung dar und berücksichtigt zeitlich zunehmende beziehungsweise abnehmend Ausfallraten. [2)]

Anwendung bei Lebensdauerverteilungen von redundaten Systemen mit kumulativ wirkenden Ausfallgründen findet die negative Binominalverteilung mit der Wahrscheinlichkeitsfunktion

$$f(x) = \binom{x + m - 1}{x} \cdot p^m \, (1 - p)^x \, .$$

Sie ist die der Gammaverteilung entsprechende diskrete mathematische Form bei endlichen Beobachtungszeitspannen. Während die positive Binominalverteilung die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von m Ereignissen einer Art in einer Stichprobe von x Ereignissen angibt [3)], beantwortet die negative Binominalverteilung die Frage nach der Wahrscheinlichkeit, mit der x Ereignisse der Stichprobe auftreten müssen, um m Ereignisse zu erhalten.

---

1) Vgl. Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 244 ff.
   Epstein =Tests= 83 - 101; 167 - 183.
2) Zur Weibull-Verteilung vgl.
   Weibull =Distribution-Function= 293 - 297
   Plait =Weibull-distribution= 17 - 26
   Stange =Abgangslinie= 113 - 151
   Wittenberg =Verteilungstheorien= 147.
3) Vgl. dazu Pfanzagl =Methodenlehre= 15 ff.

Die negative Binominalverteilung entsteht als zusammengesetzte Poisson-Verteilung mit λ als zufälliger Veränderlicher. [1] Sie heißt Pascal-Verteilung, wenn x ganzzahlig ist. [2]

In der Praxis sind die Verteilungsgesetze selten unmittelbar bekannt, während für die Ausfallraten (Ausfallintensität) Beobachtungen vorliegen.

Die nachstehenden Ausführungen zeigen den Übergang von einer beobachteten Ausfallrate zu dem dafür relevanten Verteilungsgesetz.

Die Ausfallintensität sei

$$g(t) = \frac{\varphi(t)}{p(t)} = \frac{\varphi(t)}{1 - F(t)}$$

$\varphi(t)$ bezeichnet die Dichte der Ausfall-Wahrscheinlichkeit.

$$F(t) = \int_0^t \varphi(\tau)\, d\tau\,; \quad \varphi(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

Es wird bei gegebenem g(t) die Funktion für $\varphi(t)$ gesucht.

$$(1) \quad g(t) = -\frac{-\varphi(t)}{1 - F(t)}$$

$$(2) \quad \int g(\tau)\, d\tau = -\int \frac{-\varphi(\tau)}{1 - F(\tau)}\, d\tau$$

---

1) Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 148.
2) Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 151.

Nach Differentiation des Nenners

$$\frac{d}{d\tau}\,[1-F(\tau)] = -\frac{dF(\tau)}{d\tau} = f(\tau)$$

ist

$$(3)\qquad g(\tau)\,d\tau = -\ln\,[1 - F(t)]$$

$$\int \frac{f'(x)}{f(x)}\,dx = \ln f(x) + C$$

oder

$$(4)\qquad e^{-\int g(\tau)\,d\tau} = 1 - F(t);\quad F(t) = 1 - e^{-\int g(t)\,dt}$$

und

$$(5)\quad f(t) = -\frac{d}{dt}\cdot\left(-\int g(t)\,dt\right)\cdot e^{-\int g(t)dt} = g(t)\cdot e^{-\int g(t)dt}$$

Beispiel 1

Die Ausfallrate g(t) ist konstant = λ

$$f(t) = \lambda\cdot e^{-\int\lambda\,dt} = \lambda\cdot e^{-\lambda\cdot t+\ln C} = C\cdot\lambda\cdot e^{-\lambda t}$$

C wird bestimmt aus

$$\int_0^\infty f(t)\,dt = C\cdot\lambda\cdot\int_0^\infty e^{-\lambda t}\,dt = C\cdot\lambda\cdot\left(-\frac{1}{\lambda}\right)\cdot\left[e^{-\lambda\cdot t}\right]_0^\infty = -C\cdot(0-1) = C$$

daraus folgt C = 1 und

$$\varphi(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$$ = Exponentialverteilung.

Beispiel 2

Die Ausfallrate g(t) folgt dem Gesetz $a \cdot t^b$

$$\int_0^\infty g(t)\,dt = a \cdot \int_0^\infty t^b\,dt = a \cdot \frac{t^{b+1}}{b+1} + C = \frac{a}{b+1} \cdot t^{b+1} + C$$

$$\varphi(t) = a \cdot t^b \cdot e^{-\left[\frac{a}{b+1} \cdot t^{b+1} + C\right]} = a \cdot e^{-C} \cdot t^b \cdot e^{-\frac{a}{b+1} \cdot t^{b+1}}$$

C wird bestimmt aus

$$\int_0^\infty \varphi(t)\,dt = a \cdot e^{-C} \cdot \int_0^\infty t^b \cdot e^{-\frac{a}{b+1} \cdot t^{b+1}}\,dt$$

Substitution:

$u = \frac{a}{b+1} \cdot t^{b+1}$ mit der Bestimmung $b + 1 > 0$

für $t = 0$ ist $u = 0$

für $t = \infty$ ist $u = \infty$

daraus folgt für

$$\int_0^\infty \varphi(t)\,dt = a \cdot e^{-C} \cdot \int_0^\infty t^b \cdot e^{-\bar{u}} \frac{d\bar{u}}{a \cdot t^b} = e^{-C} \cdot \int_0^\infty e^{-\bar{u}}\,d\bar{u}$$

$$d\bar{u} = \frac{a}{b+1} \cdot (b+1) \cdot t^b\,dt$$

$$= a \cdot t^b\,dt$$

$$= e^{-C} \cdot 1 \; ; \; e^{-C} = 1$$

$\varphi(t) = a \cdot t^b - e^{-\frac{a}{b+1} \cdot t^{b+1}}$ = Weibull-Verteilung.[1)]

Mit der beschriebenen Methode lassen sich in analoger Form die statistischen Verteilungsgesetze für die Lebensdauerverteilungen beziehungsweise Ausfallhäufigkeiten von Maschinen, Materialien, Bauelementen, Geräten und anderen im Fertigungsprozess eingesetzten Aggregaten ermitteln.

Zweifellos ist die Ermittlung von Häufigkeitsverteilungen von Ausfällen im Fertigungsprozess mit Schwierigkeiten verbunden, und oft werden die empirisch ermittelten Werte keinem mathematischen Gesetz in befriedigender Weise folgen. Es ergibt sich dann ein Optimalproblem, wie weit ein Untersuchungsaufwand getrieben werden soll, um das gültige mathematische Gesetz für die Wahrscheinlichkeit von Ausfällen zu ermitteln oder ob eine Näherungslösung als ausreichend angesehen werden kann. Das gilt besonders bei Fehlern aus Mensch-Maschine-Kombinationen.

---

1) Setzt man für den Parameter $b = a - 1$ und für $a = \lambda - \alpha$ ein, wobei $\frac{a}{b+1} = \lambda$ ist, dann erhält man die Formel

$$f(t) = \lambda \cdot \alpha \, t^{\alpha - 1} \cdot e^{-\lambda t^{\alpha}}$$

bei

Barlow-Proschan =Reliability= 13.
Zur Weibull-Verteilung siehe auch Weibull =Distribition function=

III. Wahrscheinlichkeitsfunktionen für das Zusammenwirken von Mensch und Maschine

Die Ermittlung der Häufigkeitsverteilungen von Arbeitsergebnissen bei einem Zusammenwirken von Mensch und Maschine führt zu kombinierten Verteilungsgesetzen und bedingten Wahrscheinlichkeiten. Die mathematische Behandlung solcher Gesetze ist kompliziert und erfordert einen beträchtlichen mathematischen Aufwand.

Diese Schwierigkeit läßt sich umgehen, wenn als Näherungslösung bekannte und tabellierte Verteilungsgesetze herangezogen werden können.

Geht man von der Vorstellung aus, daß ein Arbeitsergebnis vom Grad der Einwirkung menschlicher oder maschineller Verrichtungen auf das Arbeitsobjekt abhängig ist, dann sind die Intensität des jeweiligen Einflusses auf das Arbeitsergebnis und die für bestimmte Arbeitsverrichtungen und ihre Ergebnisse gültigen, empirisch oder statistisch ermittelten Verteilungsgesetze zu bestimmen.

Setzt man die Intensität der Einflüsse aller maschinellen und menschlichen Verrichtungselemente auf das Arbeitsergebnis gleich 100 %, dann wird bei einer Analyse des Arbeitsablaufes und einer Klassifizierung der Verrichtungselemente nach maschineller oder menschlicher Ausführung die Intensität des jeweiligen menschlichen oder maschinellen Einflusses sichtbar. Diese Intensität soll mit Einwirkungsgrad bezeichnet werden.

Für die jeweiligen Einwirkungsgrade ist dann mit Hilfe empirischer Untersuchungen das als Näherungslösung gültige Verteilungsgesetz zu bestimmen. Sind zum Beispiel die im Anhang [1)] zusammengestellten Häufigkeitsverteilungen aus einer gegebenen Produktionsstruktur ermittelt worden, könnte eine Aufstellung für Einwirkungsgrade und die dafür als Näherungslösung zugelassenen, nur für diese Produktionsstruktur gültigen Verteilungsgesetze wie folgt

1) Anhang S.

aussehen:

Einwirkungsgrad menschlich	Einwirkungsgrad maschinell	Als Näherungslösung zu verwendendes Verteilungsgesetz
≥ 75 %	≤ 25 %	Normalverteilung
50 - 75 %	25 - 50 %	Normalverteilung log. Normalverteilung
25 - 50 %	50 - 75 %	log. Normalverteilung Poisson-Verteilung Weibull-Verteilung
≤ 25 %	≥ 75 %	Weibull-Verteilung Binominal-Verteilung χ^2-Verteilung Exponential-Verteilung

Ergänzt man mit den Methoden des Human Factors Engineering [1] eine Mensch-Maschine-Kombination, wie sie von Kosiol dargestellt wird [2], dann lassen sich auch die als Näherungslösung zugelassenen Verteilungsgesetze sicherer zuordnen. Damit werden bei allgemein guter Übereinstimmung mit den realen Gegebenheiten genauere Aussagen über gültige Wahrscheinlichkeitsfunktionen für aus Mensch-Maschine-Kombinationen resultierende Werte von Arbeitsergebnissen möglich.

Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß die für bestimmte Mensch-Maschine-Kombinationen ermittelten Verteilungsgesetze oder deren Näherungslösungen keine Allgemeingültigkeit für alle gleichartigen Mensch-Maschine-Kombinationen besitzen. Die Ergebnisse müssen immer wieder empirisch überprüft werden, da selbst für eine Kombination von der gleichen Maschine mit verschiedenen Menschen nicht unbedingt auch das gleiche Verteilungsgesetz zutreffend sein muß.

---

1) Vgl. dazu Theil =Mensch und Maschine= 33.
2) Kosiol, Szyperski, Chmielewicz =Systemforschung= 367.

D Die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung im industriellen Arbeitsprozess

I. Redundante Systeme

1. Abgrenzung der Begriffe System und Redundanz

Im Brockhaus-Lexikon[1] wird der Begriff System u.a. beschrieben als "ein gegliedertes Ganzes, das heisst ein solches, dessen Teile in einem einheitlichen Zusammenhang miteinander stehen oder einem gemeinsamen obersten Prinzip oder Gesetz sich unterordnen". System ist der "Zusammenschluss eines Mannigfaltigen zu einem einheitlichen und wohlgegliederten Ganzen, in dem das Einzelne im Verhältnis zum Ganzen und zu den übrigen Teilen die ihm angemessene Stelle einnimmt".[2] Das Einzelne als Element des Ganzen oder der Gesamtheit hat Eigenschaften und ist mit den übrigen Elementen durch Relationen verknüpft:

> "Der Zusammenhang dieser Eigenschaften und Relationen kann als Struktur bezeichnet werden."[3]

Eine Struktur setzt eine "ordnende Gestaltung"[4] voraus. Der Zusammenhang aller Elemente muß einem gemeinsamen Gestaltungsprinzip für die Struktur gehorchen.

Ein Gestaltungsprinzip für ein System kann jedoch für die gleichen Elemente einer Ganzheit völlig heterogene Ziele verfolgen. Die ratio relationis, der Beziehungsgrund für die Verknüpfung von Elementen resultiert aus der Blickrichtung der Umwelt des zu beschreibenden

---

1) =Brockhaus-Lexikon= Bd. 15.
2) =Philosophisches Wörterbuch=.
3) Kosiol, Szyperski, Chmielewicz =Systemforschung= 339.
4) Vgl. dazu Kosiol =Organisation= 19.

Systems, dem Umsystem.[1] Das Gestaltungsprinzip für die Ordnung von Einzelteilen einer Schreibmaschine kann zum Beispiel dem Umsystem "Lager" entstammen und fordert daher als mögliches Gestaltungsprinzip die lexikographische Ordnung der Teile. Ein Umsystem "Vorrichtung zum mechanischen Schreiben mittels Fingeranschlägen" fordert die Strukturierung nach dem Funktionsprinzip. Daraus kann gefolgert werden, dass die Gestaltungsprinzipien für die Struktur eines Systems einer differenzierten Zweckbestimmung unterliegen, die wiederum vom jeweiligen Umsystem konstituiert wird.

Nach diesen Überlegungen lässt sich der Systembegriff erweitern: Ein System als Gesamtheit geordneter Elemente hat eine Struktur, deren Gestaltungsprinzip wählbaren Umsystemen für die gleiche Elementegesamtheit entnommen werden kann.[2]

Mit Redundanz (lateinisch: redundatia = Überfülle) wird in der Zuverlässigkeitstheorie die Bereitstellung von Reserven bezeichnet. Unter Redundanz wird hierbei der Einsatz überzähliger Einheiten zur Erhöhung der Lebensdauer von Elementen, Aggregaten oder Systemen verstanden.

Eine Redundanz kann sein:

a) Die Parallelschaltung von Elementen, in der simultan bei Versagen des ersten Elementes das nächstfolgende Element die Aufgabe übernimmt, und
b) die Bereithaltung von Elementen (zum Beispiel im Lager) für den sukzessiven Ersatz bei Ausfall eines arbeitenden Elementes.

Die zuletzt genannte Art ist bereits des öfteren im

---

1) Zum Begriff Umsystem vgl. Kosiol, Szyperski, Chmielewicz =Systemforschung= 339.
2) Aus dem Umsystem "Erfüllung der Unternehmungsaufgabe" folgt das Gestaltungsprinzip der "integrativen Strukturierung" für das System "Organisation".

Zusammenhang mit Lagerhaltungsaufgaben behandelt worden und kann hier vernachlässigt werden.[1)]

Die unter a) beschriebene Form der Redundanz wird im folgenden als Redundantes System bezeichnet. Gestaltungsprinzip ist simultane Austauschbarkeit von Elementen zur Erhöhung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit des Gesamtsystems.

2. Redundante Systeme und ihre Darstellung

Redundante Systeme können auf verschiedene Weise dargestellt werden, die bestimmt wird vom exakt die Verhaltensweise des Systems wiederspiegelnden Modellaufbau. Dieses Modellsystem wird einer Funktions- und Verhaltensanalyse unterworfen, die Rückschlüsse auf die im System möglichen Ausfallereignisse zulässt. Unter Ausfall eines Systems wird im allgemeinen die Veränderung seines von der definierten Funktionsfähigkeit abweichenden Zustandes angesehen.[2)] Die einfache Form eines redundanten Systems wird mit der Darstellung seiner Zustände Versagen beziehungsweise Nichtversagen beschrieben, wobei beim Zustand Versagen das System unwiderruflich ersetzt werden muss. Komplizierter wird die Darstellung redundanter Systeme, wenn die Redundanzen wie auch das Hauptsystem selbständig reparatur- oder wiederherstellungsfähig sind.[3)]

---

1) Vgl. dazu zum Beispiel Ferschl =Wirtschaftsprozesse= 9 ff und 69 ff, Barlow/Proschan =Reliability= 49, 63, 139 ff.
In der Technik unterscheidet man ausserdem die heisse Redundanz, wobei die Ersatzsysteme unter einer bestimmten Nennbelastung stehen, von der kalten Redundanz, bei der die Ersatzsysteme erst nach Ausfall des vorhergehenden Systems belastet werden.

2) Zustand ist nicht notwendigerweise der physikalische Zustand des Systems.

3) Zum Beispiel das Ausfallen und Wiederaufladen einer Sonnenbatterie.

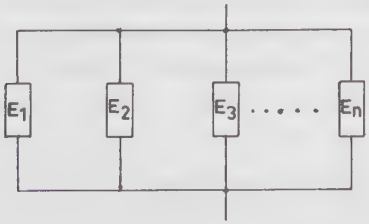
Die apriorische Analyse der Systemzuverlässigkeit mit Hilfe des Zustandsmodells ergibt eine mathematische Beschreibung der von zufalls- und zeitabhängigen Parametern bestimmten Ausfallereignisse durch Wahrscheinlichkeitsfunktionen.[1)]

Redundante Systeme lassen sich in Logikdiagrammen darstellen. So ergibt das Auftreten eines einzigen Fehlers, der jedesmal zum Ausfall des Gesamtsystems führt, die einfache Form einer Reihenschaltung der einzelnen Elemente E:

Die Wahrscheinlichkeit für den (unabhängigen) Ausfall ergibt sich aus der Produktregel[2)]:

$$\bar{Z} = \overline{E_1 \wedge E_2 \wedge E_3 \wedge \ldots E_n} \quad (Z = \text{Arbeitszustand})$$

Ergibt die Verhaltensanalyse, dass das Gesamtsystem erst dann ausfällt, wenn alle Fehler zusammen auftreten, dann entspricht das Diagramm einer Parallelschaltung.



Die Wahrscheinlichkeit für den Ausfall dieses Systems ergibt sich aus dem Additionstheorem[3)]:

---

1) Vgl. hierzu Barlow/Proschan =Reliability= und die dort angegebene Literatur.
2) Vgl. Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 10, Pfanzagl =Methodenlehre= 11.
3) Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 8, Pfanzagl =Methodenlehre= 9.

$$\bar{Z} = \overline{E_1 \vee E_2 \vee E \vee \ldots\ldots E_n}$$

Nach dem Theorem von De Morgan[1] kann geschrieben werden für

$$\bar{Z} = \overline{E_1 \wedge E_2 \wedge E_3 \wedge \ldots E_n} = \bar{E}_1 \vee \bar{E}_2 \vee \bar{E}_3 \vee \ldots \bar{E}_n$$

und für

$$\bar{Z} = \overline{E_1 \vee E_2 \vee E_3 \vee \ldots\ldots E_n} = \bar{E}_1 \wedge \bar{E}_2 \wedge \bar{E}_3 \wedge \ldots\ldots \bar{E}_n$$

In dieser Form können Zuverlässigkeitsdiagramme in der Form von vermaschten Netzwerken aufgestellt werden, deren Ausfallwahrscheinlichkeit bei einer grösseren Zahl von Elementen mit elektronischen Rechenanlagen berechnet werden muss.[2]

Zu einem besonderen Problem führt die Forderung nach der höchsten Zuverlässigkeit eines Systems bei gleichzeitiger Beschränkung durch gegebene Kosten oder ein vorgeschriebenes und nicht zu überschreitendes Höchstgewicht der Redundanz, beziehungsweise des Systems. Solange keine Nebenbedingung als Beschränkung vorliegt, kann durch unbegrenztes Hinzufügen paralleler Bauelemente oder Aggregate die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems sehr hoch getrieben werden. Die Nebenbedingung einer Raum-, Gewichts- oder Kostenbeschränkung verlangt jedoch eine Optimierungsrechnung.

Für ein System, das aus k Stufen oder Bauelementen besteht, wobei die Funktion des Gesamtsystems von jedem einzelnen Element abhängt (Versagen einer Stufe bedeutet Ausfall des gesamten Systems), geben Barlow/Proschan eine

---

1) Vgl. Weyh =Schaltungsalgebra= 38 ff.
2) Vgl. hierzu auch Weinstock =Reliability= 26 ff.

Iterationsmethode zur Ermittlung der optimalen Ausstattung eines redundanten Systems mit Ergänzungseinheiten und unter Nebenbedingungen an.[1)]

Dieser Methode liegt die Idee zu Grunde, jeweils ein Bauelement (Stufe) in einer Zeiteinheit hinzuzufügen, wobei die Auswahl immer auf dasjenige Element fällt, das die grösste Systemzuverlässigkeit je aufzuwendender Geldeinheit (Gewichtseinheit) ergibt.

Eine Einschränkung des Verfahrens besteht darin, dass es sinnvoll nur dann angewendet werden kann, wenn die Zahl der redundanten Ergänzungen beliebig gross werden darf (undominated redundancy allocations) und der Wert der einzelnen Redundanzen klein gegenüber dem Wert des Gesamtsystems ist. Der Hauptanwendungsbereich der Methode von Barlow und Proschan ist der technische Sektor.[2)]

Redundante Systeme müssen unter betriebswirtschaftlichem Aspekt anderen Beurteilungsmaßstäben unterworfen werden. Die mathematische Zuverlässigkeitstheorie, eines der neueren Anwendungsgebiete der Wahrscheinlichkeitsrechnung, legt ihr Hauptaugenmerk auf die Optimierung der Lebensdauerwahrscheinlichkeit unter Nebenbedingungen wie Kosten, Lagerhaltung, laufende Inspektion des Systems und so weiter, die ebenfalls zu optimieren sind. Die Übertragung

---

1) Barlow/Proschan =Reliability= 170 ff.

2) Anwendungsbereiche sind u.a. redundante Relaissysteme oder redundante Verstärkersysteme. Als Beispiel sei der Ausfall von Transistoren geschildert: 1960 betrug der Ausfall je Stunde an Transistoren $1 \cdot 10^{-6}$. Die Forderung für die Raketentechnik lautete $0{,}01 \cdot 10^{-6}$ und für Nachrichtensatelliten $0{,}055 \cdot 10^{-6}$ Ausfälle je Stunde. Die zur Erfüllung dieser Forderungen zu bildenden redundanten Systeme können nach der Methode von Barlow/Proschan optimiert werden.

ihrer Prinzipien auf betriebswirtschaftliche Probleme im Transformationsprozess kann nur unter dem Gesichtspunkt der Rentabilität erfolgen. Sie wird zur Zielfunktion unter den Nebenbedingungen optimaler Lebensdauerwahrscheinlichkeiten für die ausgewählten Systeme.

3. Ein Beispiel für den Einsatz eines redundanten Systems im Transformationsprozess

Die Entscheidung für den Einsatz einer Redundanz im Fertigungsprozess wird ergänzend zu der technischen Forderung nach Zuverlässigkeit weitgehend von mengenwirtschaftlichen Überlegungen bestimmt. Die wirtschaftliche Betrachtungsweise orientiert sich an der jeweils notwendigen Höhe der Werkstattbestände und zieht hieraus die Schlussfolgerungen für die Entscheidungsfindung. Ein Beispiel soll das Verfahren erläutern.

a) Untersuchungsobjekt und Problemstellung

Eine Werkstatt ist wie folgt aufgebaut:
Ein Aggregat G_1 versorgt die Fertigungsstufe G_2 mit einem Bauteil T_1. Die Arbeitsleistungen von G_2 sind auf die Leistung von G_1 abgestimmt, das heisst ein Ausfall von G_1 gefährdet das Ergebnis von G_2. Ein Rückgang der Leistung von G_2 hat hohe Gemeinkosten zur Folge,[1] und die daraus resultierenden Terminüberschreitungen für die Fertigstellung einer Baugruppeneinheit führen zu schwerwiegenden Nachteilen. Die konstante und ununterbrochene Leistung von G_2 ist sicherzustellen.

---

1) Die in der Fertigungsstufe G_2 beschäftigten Arbeitskräfte sind Spezialkräfte mit einem hohen Akkord-Durchschnittslohn und können kurzfristig nicht umgesetzt werden.

Das Aggregat G_1 setzt sich aus einer Maschine M_1 und dem Werkzeug W_1 zusammen. Werkzeug und Maschine sind unter technischen Gesichtspunkten als optimal ausgelegt zu betrachten. Infolge der technischen Kompliziertheit von W_1 und den engen Toleranzen für T_1 wurde für das Aggregat G_1 eine hohe Ausfallhäufigkeit gemessen.

Da das Teil T_1 nur von G_1 hergestellt werden kann, muss zu Beginn der Fertigung der Lagerbestand so gross angelegt werden, dass für einen vorgesehenen Zeitraum eine störungsfreie Versorgung von G_2 mit den Teilen T_1 gewährleistet ist.

Mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung soll geprüft werden, ob die Ergänzung von W_1 zu einem redundanten System unter den genannten Bedingungen wirtschaftlich vertretbar ist.

b) Die Rechenmethode

Der für die relative Ausfallhäufigkeit von W_1 gemessene Mittelwert beträgt $q_{w1} = 0{,}2$.[1)]
Der gemessene Mittelwert für die Ausfallhäufigkeit von M_1 ist $q_{m1} = 3 \cdot 10^{-4}$.

Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass G_1 nicht ausfällt, ergibt sich unter der Voraussetzung der Unabhängigkeit der Ausfälle aus der Wahrscheinlichkeit, dass W_1 und M_1 nicht ausfallen:

$$P(G_1) = P(1-q_{w1}) \cdot (1-q_{m1}) .$$

---

1) q ist dimensionslos und drückt das Verhältnis der Ausfallzeit = Zeit für den Ausbau, die Reparatur und den Einbau zur Gesamtbeobachtungszeit aus.

Für die Werte der relativen Ausfallhäufigkeiten wurden keine Streuungen[1] errechnet, sie werden in der folgenden Rechnung nicht berücksichtigt. Die geringe Ausfallhäufigkeit von M_1 kann für die weiteren Berechnungen ebenfalls ausser Ansatz bleiben.

Der Ausbau des Werkzeuges W_1, die Reparatur und der Wiedereinbau in die Maschine erforderte im Mittel einen Tag. Für einen bestimmten Zeitraum muss nun ein Lagerbestand ermittelt werden, der die Ausfälle von G_1 überbrückt.

Für den Zeitraum von einem Jahr - das entspricht T = 220 Arbeitstage - beträgt die mittlere Ausfalldauer von G_1

$$\bar{x} = q_{w1} \, T = 0{,}2 \; 220 = 44 \text{ Tage.}$$

q_{w1} ist jedoch ein Mittelwert, dessen gemessene relative Häufigkeiten gewissen Schwankungen unterworfen sind. Aus diesem Grund ist der errechnete Wert für $\bar{x}$ um eine Sicherheit zu erweitern, bevor hieraus Schlussfolgerungen auf den die Ausfallzeit überbrückenden Werkstattbestand möglich sind. Mit Hilfe einer Intervallschätzung werden die Grenzen bestimmt, in denen der unbekannte Parameter mit grosser Wahrscheinlichkeit anzutreffen ist. Ein solcher Bereich wird als Konfidenzintervall, Vertrauensbereich oder Mutungsintervall bezeichnet.[2]

---

1) Mittelwerte kennzeichnen nicht die zugehörige Verteilungsfunktion. Diese kann erst durch Streuungsmasse näher bestimmt werden. Als Streuungsmass dienen
die Spannweite R (Pfanzagl =Methodenlehre= II, 103-105, 292; Anderson =Probleme= 25-26)
der Variationskoeffizient (Pfanzagl =Methodenlehre= I, 31 ff; Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 67; Anderson =Probleme= 31)
und die Standardabweichung (Pfanzagl =Methodenlehre= I, 28 ff; Anderson =Probleme= 27 - 30; Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 62 ff).

2) Pfanzagl =Methodenlehre= II, 82. Zur Theorie der Schätzfunktionen vgl. auch Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 383 ff, insbesondere 410.

Im vorliegenden Beispiel handelt es sich um eine diskrete Verteilung mit kleinen Stichproben, für die die Wahrscheinlichkeit dafür, dass X = x' bei p = konstant durch die Binominalverteilung beschrieben wird:

$$(1)\quad P(X \leq x') = \sum_{x=0}^{x'} \binom{n}{x} \cdot q^x \cdot (1-q)^{n-x}$$

beziehungsweise

$$= \sum_{x=0}^{x'} \binom{n}{x} \cdot (1-p)^x \cdot p^{n-x}$$

Da das Rechnen mit der Binominalverteilung etwas umständlich ist, kann man, soweit grössere Stichproben n vorausgesetzt oder angenommen werden dürfen, eine Näherungslösung durch den Übergang zur Normalverteilung verwenden.

Aus der Formel für die Binominalverteilung folgt für $n \to \infty$

$$(1)\quad P(X \leq x') = \int_{-\infty}^{x'} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{n \cdot q \cdot (1-q)}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x - n \cdot q}{\sqrt{n \cdot q \cdot (1-q)}}\right)} \quad 1)$$

Substitution:

$$\ddot{u} = \frac{x - n \cdot q}{\sqrt{n \cdot q \cdot (1-q)}} \quad ; \quad \ddot{u}' = \frac{x' - n \cdot q}{\sqrt{n \cdot q \cdot (1-q)}}$$

in (1) eingesetzt ergibt

$$(2)\quad P(U \leq \ddot{u}') = \int_{-\infty}^{\ddot{u}'} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{\ddot{u}^2}{2}} \, d\ddot{u}$$

Für ein gewähltes $P(U \leq u')$ wird (2) zu einer Gleichung für u', deren Lösung den Tafeln für die Normalverteilung zu entnehmen ist.

---

1) Vgl. dazu Pfanzagl =Methodenlehre= 68.

Bei einem gefundenen u' wird

$$x' = n \cdot q + u' \cdot \sqrt{n \cdot q \cdot (1-q)}$$

$$(3)\quad q' = \frac{x'}{n} = q + u' \cdot \sqrt{\frac{q(1-q)}{n}} \qquad \text{und, da } p = 1-q,\ p' = 1-q'$$

$$(4)\quad p' = 1 - q' = 1 - q - u' \cdot \sqrt{\frac{q(1-q)}{n}}$$

$$(5)\quad = p - u' \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

In der Gleichung (5) sei p eine aus der Messung einer Stichprobe folgende Schätzung für die Funktionswahrscheinlichkeit eines bestimmten Aggregates.
Dann ist x' die Zahl der Fehler (Ausfälle etc.) unter n (Arbeitsoperationen, Arbeitstagen etc.), die mit einer gewählten statistischen Sicherheit nicht überschritten wird. Aus Formel (4) ergibt sich dann die Wahrscheinlichkeit p' bei einer gewählten Sicherheit u'.[1] Für die einseitige obere Sicherheitsgrenze [2] erhält man bei einem gewählten

$$P(U \leq u') = 99\ \% \text{ für } u' = 2{,}33.$$

Die Funktionswahrscheinlichkeit von G_1 ist p = 0,8, n = 220.

Es folgt für

$$p' \leq 0{,}8 - 2{,}33 \sqrt{\frac{0{,}8 \cdot 0{,}2}{220}} = 0{,}8 - 2{,}33 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{16}{2{,}2}}$$

$$= 0{,}737$$

und $q' \leq 1 - p' \leq 0{,}263$

$x' \leq n \cdot q' \leq 58.$

---

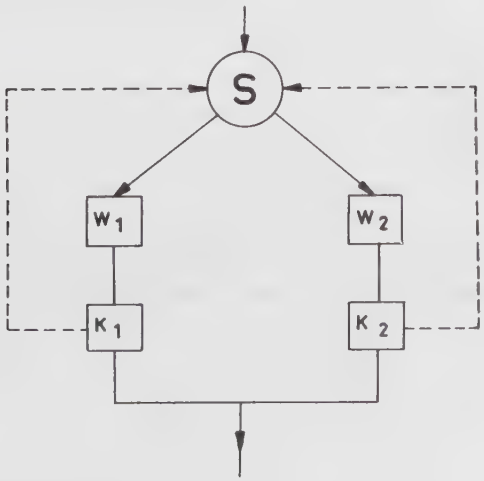
1) Zur Sicherheitswahrscheinlichkeit vgl. auch Pfanzagl =Methodenlehre= II, 89 ff.
2) Anstelle von u' wird in der Literatur auch die Bezeichnung λ_α und für U = ϵ gesetzt. Vgl. dazu auch Pfanzagl =Methodenlehre= II, 94; Anderson =Probleme= 112 ff; Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 354.

Schlussfolgerung:

Soll das Aggregat G_2 für die Zeit von 220 Tagen ohne Unterbrechung (durch fehlende Teile T_1) arbeiten, wobei Teil T_1 nur von G_1 geliefert werden kann, muss unter der oben postulierten Sicherheitsvoraussetzung zum Beginn der Fertigung ein Lagerbestand vorhanden sein, der für 58 Arbeitstage Teile T_1 umfasst. Dieser Bestand deckt mit einer Sicherheit von 99 % die zu erwartenden Ausfälle von G_1.

Es soll geprüft werden, ob durch den Einsatz eines redundanten Werkzeuges zu W_1 die Ausfallhäufigkeit von G_1 herabgesetzt werden kann und unter welcher Voraussetzung der dafür notwendige Aufwand wirtschaftlich vertretbar ist.

Das hierfür zu bildende redundante System besteht aus Werkzeug W_1 und Werkzeug W_2. Jedem Werkzeug ist ein Kontrollgerät nachgeschaltet. Jede Überschreitung einer Toleranz bedeutet Ausfall des betreffenden Werkzeuges. Durch das Kontrollgerät K_1 beziehungsweise K_2 wird ein Schaltsystem S betätigt, das wechselweise die Redundanz (W_1, K_1 oder W_2, K_2) in Betrieb nimmt:



Aus den Produkten der Mittelwerte und den Axiomen für unabhängige Wahrscheinlichkeiten ergibt sich

$P(W_1)$ = Funktionswahrscheinlichkeit des Werkzeuges W_1,
$P(K_1)$ = " des Kontrollgerätes K_1,
$P(W_2)$ = " des Werkzeuges W_2,
$P(K_2)$ = " des Kontrollgerätes K_2,
$P(S)$ = " des Schaltsystemes,
$P(G_1)$ = " des Gesamtsystemes,
$P(M_1)$ = wird mit 1 angenommen

$$P(G_1) = P(S) \cdot [P(W_1) \cdot P(K_1) + P(W_2) \cdot P(K_2) - P(W_1) \cdot P(K_1) \cdot P(W_2) \cdot P(K_2)]$$

Beide Werkzeuge und beide Kontrollgeräte sind jeweils technisch äquivalent.

Für die Funktionswahrscheinlichkeiten kann deshalb geschrieben werden

$$P(W_1) = P(W_2) = P(W) \text{ und}$$
$$P(K_1) = P(K_2) = P(K)$$

$$P(G_1) = P(S) \cdot [2 \cdot P(W) \cdot P(K) - P^2(W) \cdot P^2(K)]$$

Die Mittelwerte der relativen Ausfallhäufigkeiten betragen für

Werkzeug	$1 - P(W) = 0{,}2$
Kontrollgerät	$1 - P(K) = 4 \cdot 10^{-3}$
Schalter	$1 - P(S) = 10^{-4}$.

Die Messungen, die zu den angegebenen Mittelwerten der Ausfälle führten, wurden an Stichproben vorgenommen. Unter der Annahme, dass die Zahl der Stichproben so gross ist, dass die Varianz σ^2 mit dem Schätzwert S^2 identifiziert

werden kann[1)], gilt mit guter Näherung ebenfalls

$$dF(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sqrt{n\cdot p\cdot(1-p)}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-n\cdot p}{\sqrt{n\cdot p\cdot(1-p)}}\right)^2} dx$$

$$x' = n\cdot p + u'\sqrt{n\cdot p(1-p)}$$

$$p' = \frac{x'}{n} = p + u'\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad .$$

Für 99% Sicherheit (α=0,01) ist u'=2,33.

Die Rechnung für das redundante System kann auf zwei Arten erfolgen:

a) Die Berechnung der Funktionswahrscheinlichkeit für das gesamte System

$P(G_1) = P(S)\cdot P(W)\cdot P(K)\left[2-P(W)\cdot P(K)\right]$

$P(G_1) = (1-10^{-4})(1-0,2)(1-4\cdot 10^{-3})\left[2-(1-0,2)(1-4\cdot 10^{-3})\right]$

$= 0,9586$

Diese Funktionswahrscheinlichkeit als p in (5) eingesetzt ergibt

$p' = p - u'\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$ $\quad u'=2,33;\ n=220$

$= 0,9586 - 2,33\cdot\frac{0,9586\cdot 0,0414}{220}$

$= 0,9286$

$q' = 1-p' = 0,0714$

$x' = n\,q' = 220\ 0,0714 = 15,7 \approx 16$

b) Berechnung der Gesamtfunktionswahrscheinlichkeit aus

---

1) Auf die Darstellung höherer Verfahren für die Normalverteilung bei unbekannter Varianz wird hier verzichtet. Vgl. dazu
Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 355 ff,
Pfanzagl =Methodenlehre= II, 193 ff,
Anderson =Probleme= 232 ff,
Graf/Henning =Statistische Methoden= 74 ff, 219, 100 ff.

der unteren Grenze der Einzel-Funktionswahrscheinlichkeiten (als Gegenkontrolle). Die errechnete Sicherheit liegt in Wirklichkeit etwas höher, weil in dieser Rechnung das Postulat der unabhängigen Wahrscheinlichkeiten verlassen wurde.

Werkzeug $W=W_1=W_2$ $\quad p=1-0{,}2 = 0{,}8$

$$p'_W = 0{,}8-2{,}33\sqrt{\frac{0{,}8 \cdot 0{,}2}{220}} = 0{,}737$$

Kontrollgerät $K=K_1=K_2$ $\quad p=1-4 \cdot 10^{-3} = 0{,}996$

$$p'_K = 0{,}996-2{,}33\sqrt{\frac{0{,}996 \cdot 0{,}004}{220}} = 0{,}986$$

Schalter S $\quad p=1-10^{-4} = 0{,}9999$

$$p'_S = 0{,}999-2{,}33\sqrt{\frac{0{,}9999 \cdot 0{,}0001}{220}} = 0{,}9984$$

Die Funktionswahrscheinlichkeit [1] für das Aggregat G_1 ergibt sich aus

$$P'(G_1)=P'(S)\cdot P'(W)\cdot P'(K)\cdot \left[2-P'(W)\cdot P'(K)\right]$$
$$=0{,}9984\cdot 0{,}737\cdot 0{,}986\cdot \left[2-0{,}737\cdot 0{,}986\right]$$
$$=0{,}9244$$

$$q' = 1-P' = 0{,}0756$$
$$x' = n\cdot q' = 16{,}72 \approx 17.$$

Ergebnis:
Arbeitet das Aggregat G_1 mit nur einem Werkzeug W_1, wird zu Beginn der Fertigung ein Lagerbestand für 58 Tage vom Teil T_1 benötigt, um mit einer Sicherheit von 99 % die erwarteten Ausfälle von G_1 überbrücken zu können. Wird in G_1 ein redundantes System W_1, K_1-S-K_2, W_2 eingesetzt, hat der Sicherheitslagerbestand einen Zeitraum von 16 (17) Tagen zu überbrücken.

Aus den Herstellkosten für T_{1G} lassen sich die Werte für die jeweiligen Lagerbestände ermitteln, und bei einem

vorgegebenen Lagerkosten- und kalkulatorischem Zinssatz für die Kapitalbindung (gleichmässiger Lagerabgang je Monat unterstellt) können die Kapitalbindungsverluste errechnet werden. Unter der Bedingung der ununterbrochenen Arbeit von G_2 ist das redundante System dann wirtschaftlicher, wenn seine Kosten geringer als die Differenz der Kapitalbindungsverluste der beiden Lagerbestände sind.

Der Anwendungsbereich des im Beispiel geschilderten Verfahrens kann durch Veränderung und Ergänzung der Nebenbedingungen (zum Beispiel Leistung $G_1 > G_2$) erweitert werden, wobei als oberstes Prinzip eines redundanten Systemes dessen Wirtschaftlichkeit für den Gesamtprozess zu gelten hat.

II. Die Ausfallhäufigkeit eines Stanzwerkzeuges und die daraus abgeleitete Wahrscheinlichkeitsfunktion für die Lebensdauer des schwächsten Gliedes einer Kette gleicher Glieder

1. Untersuchung der Ausfallhäufigkeit eines Stanzwerkzeuges

In einer Montage wird als Bauteil eine Lötöse benötigt. Es traten in dieser Montage Wartezeiten auf, die auf Stockungen in der Lieferung dieser Lötöse zurückgeführt werden konnten.

Aus der Vorplanung sind folgende Ergebnisse zu entnehmen:
Planungszeitraum: 1 Jahr = 220 Arbeitstage,
tägliche Arbeitszeit: 8 Stunden + 0,5 Stunden Maschinen-Wartung,
Hubzahl des Stanzautomaten: 120 Hübe pro Minute,
verwendetes Werkzeug: Säulenführungsschnitt; je Arbeitshub wird der Umfang einer Lötöse und ein Lötösenloch gestanzt.

Theoretische Maximalstückzahl: 12.672.000 im Jahr,
Standzeit der Lochernadel: 10^5 Lochungen,
durchschnittliche Reparaturdauer (Ein- und Ausbau sowie Nachschleifen der Nadel): 3 Stunden.
Somit erreichbare Stückzahl: 9.928.800 Stück,
benötigte Stückzahl im Jahr: $8 \cdot 10^6$.

Die tatsächlich erreichten Stückzahlen lagen wesentlich unter der bei Berücksichtigung der durchschnittlichen Reparaturzeiten erreichbaren Stückzahl.

Die Auswertung der Werkzeugreparatur-Meldungen erbrachte folgende Ergebnisse:

Tabelle 1

gestanzte Teile in 1.000 Stück	Häufigkeit der Nadelschleifungen einschliesslich Erneuern in Abhängigkeit von der gestanzten Stückzahl
0 - 10	1
11 - 20	0
21 - 30	3
31 - 40	2
41 - 50	10
51 - 60	18
61 - 70	25
71 - 80	16
81 - 90	6
91 - 100	4
101 - 110	1
	86

Als zutreffendes Verteilungsgesetz wird die logarithmische Normalverteilung gewählt mit der Dichte

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\tau} \cdot \frac{1}{x} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \nu}{\tau}\right)^2}$$

und dem Mittelwert $\bar{x} = e^{\left(\nu + \frac{\tau^2}{2}\right)}$

Die Streuung erhält man aus dem ersten und zweiten Moment

$$\overline{x^2} = e^{2(\nu+\tau^2)}$$

$$\overline{(x\cdot\bar{x})^2} = \overline{x^2} - \bar{x}^2 = e^{2(\nu+\tau^2)} - (e^{\nu+\frac{\tau^2}{2}})^2$$

$$= e^{2\nu+\tau^2} \cdot (e^{\tau^2} - 1)$$

Die Schätzung der Parameter kann empirisch nach der Momenten-Methode erfolgen.
Man erhält für

$$\hat{\tau} = \sqrt{\ln \overline{x^2} - 2\ln \bar{x}}$$

und

$$\hat{\nu} = \frac{1}{2}(4\cdot \ln \bar{x} - \ln \overline{x^2})$$

Die logarithmische Normalverteilung kann in bestimmten Fällen durch Werte der numerischen Normalverteilung approximiert werden. Die Formel, mit der unter der Bedingung von konstanter Streuung und konstantem Mittelwert eine logarithmische Normalverteilung in eine numerische Normalverteilung transformiert werden kann, wird von Wartmann angegeben.[1] Die Anwendung der einfachen Transformationsformel wird von einem Variationskoeffizienten V abhängig gemacht, der sich aus Streuung und Mittelwert ergibt und gleich oder kleiner 0,1 sein soll[2]:

---

1) Wartmann =Bemerkungen= 154 ff.
2) Wartmann =Bemerkungen= 159.

$$V = \frac{\sqrt{\overline{x^2} - \overline{x}^2}}{\overline{x}} = \sqrt{\frac{\overline{x^2} - \overline{x}^2}{\overline{x}^2}} = \sqrt{\frac{e^{2\nu+2\tau^2}}{e^{2\nu+\tau^2}} - 1} = \sqrt{e^{\tau^2} - 1}$$

$$\leq 0{,}1 .$$

Im vorliegenden Beispiel ergibt sich aus der Rechnung mit $\hat{\tau}$ ein V von 0,26. Es wird deshalb die logarithmische Normalverteilung zur Berechnung der Werte herangezogen. In den Tabellen 2a und 2b sind die sich aus den Parameter-Schätzwerten ergebenden Werte den empirischen Werten mit guter Übereinstimmung gegenübergestellt worden. Auf eine Überprüfung mit Hilfe eines χ^2-Testes wird hier verzichtet.[1)]

Mit den nunmehr bekannten Werten können die gleichen Berechnungen durchgeführt werden, wie sie im vorhergehenden Abschnitt für redundante Systeme beschrieben worden sind. Die Überlegung, ob für das vorhandene Werkzeug ein zweites, redundantes Werkzeug hergestellt werden soll, muss für die geschilderte Fertigungsmethode die nicht unerheblichen Ausbau- und Einrichtezeiten berücksichtigen. Soll aus diesen Gründen das Werkzeug so erweitert werden, dass bei jedem Arbeitstakt zwei oder mehr Lötösen ausgestanzt werden können, wird sich unter Umständen die Ausfallhäufigkeit des Werkzeuges wegen der höheren Zahl von Nadeln ebenfalls erhöhen. Jeder Ausfall einer Nadel bedingt den Ausfall des ganzen Werkzeuges.

Um einen Vergleich mit den Berechnungen für ein redundantes Einzel-Werkzeug anstellen zu können, soll mit Hilfe eines Verteilungsgesetzes die Wahrscheinlichkeit für die Lebensdauer der schwächsten Lochernadel oder allgemein die Lebensdauer des schwächsten Gliedes einer Kette gleicher

---

1) Siehe dazu: Graf/Henning =Statistische Methoden= 151 ff, Anderson =Probleme= 155 ff, Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 364 ff u.a.

Tabelle 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x	ξ	$f(x)$	$\xi \cdot f(x)$	ξ^2	$\xi^2 \cdot f(x)$	$\ln \xi + 3 \cdot \ln 10$	Spalte 7 $- \nu$	$\frac{(\text{Sp. 8})^2}{2 \cdot \tau^2}$	$e^{-(\text{Sp. 9})}$	$f(x)$	Spalte 11 $\cdot \frac{x}{86 \cdot 10^4}$
$5 \cdot 10^3$	5	1	5	25	25	8,515	-2,496	44,10	$7{,}08\ 10^{-20}$	$2{,}13\ 10^{-23}$	$1{,}830\ 10^{-17}$
$15 \cdot 10^3$	15	0	0	175	0	9,614	-1,397	13,83	$9{,}85\ 10^{-7}$	$9{,}86\ 10^{-11}$	$0{,}848\ 10^{-3}$
$25 \cdot 10^3$	25	3	75	625	1.875	10,124	-0,889	5,60	$3{,}77\ 10^{-3}$	$2{,}27\ 10^{-7}$	1,950
$35 \cdot 10^3$	35	2	70	1.225	2.450	10,461	-0,552	2,16	$1{,}16\ 10^{-1}$	$4{,}99\ 10^{-6}$	4,288
$45 \cdot 10^3$	45	10	450	2.025	20.250	10,712	-0,301	0,64	0,527	$1{,}76\ 10^{-5}$	15,145
$55 \cdot 10^3$	55	18	990	3.025	54.450	10,913	-0,010	0,07	0,932	$2{,}55\ 10^{-5}$	21,899
$65 \cdot 10^3$	65	25	1,625	4.225	105.625	11,080	+0,067	0,03	0,969	$2{,}24\ 10^{-5}$	19,265
$75 \cdot 10^3$	75	16	1.200	5.625	90.000	11,223	+0,220	0,34	0,710	$1{,}42\ 10^{-5}$	12,087
$85 \cdot 10^3$	85	6	510	7.225	43.350	11,348	+0,335	0,79	0,452	$8{,}00\ 10^{-6}$	6,880
$95 \cdot 10^3$	95	4	380	9.025	36.100	11,459	+0,446	1,41	0,245	$3{,}88\ 10^{-6}$	3,338
$105 \cdot 10^3$	105	1	105	11.025	11.025	11,559	+0,546	2,11	0,122	$1{,}74\ 10^{-6}$	1,496
		86	5.410		365.150						

$x = 10^3 \cdot \xi$ $\quad \nu = 11{,}013$ $\quad \tau = 0{,}2655$ $\quad dF(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \tau \cdot x} \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\ln x - \nu}{\tau}\right)^2} dx$

Empirische und theoretische Häufigkeitsverteilung der Nadelschleifungen eines Stanzwerkzeuges in Abhängigkeit von der gestanzten Stückzahl.

Tabelle 2b

1 x_i	2 $x_i \pm \frac{h}{2}$	3 ln (2)	4 $\frac{(3)-\gamma}{\tau}$	5 ϕ (4)	6 $-\phi_{\text{oben}}^{\text{unten}}$	7 Korrigierter Wert aus Spalte 11 Tabelle 2a
	0	0	- 41,4802	$0{,}22955\ 10^{-375}$		
$5 \cdot 10^3$					$0{,}5629\ 10^{-11}$	$0{,}48409\ 10^{-9}$
	$1 \cdot 10^4$	9,2104	- 6,7894	$0{,}5629\ 10^{-11}$		
$15 \cdot 10^3$					$0{,}1470\ 10^{-4}$	$0{,}12642\ 10^{-2}$
	$2 \cdot 10^4$	9,9035	- 4,1789	$0{,}1470\ 10^{-4}$		
$25 \cdot 10^3$					$0{,}3991\ 10^{-2}$	1,34322
	$3 \cdot 10^4$	10,3090	- 2,6516	0,004006		
$35 \cdot 10^3$					$0{,}54238\ 10^{-1}$	4,66446
	$4 \cdot 10^4$	10,5967	- 1,5679	0,058244		
$45 \cdot 10^3$					0,175187	15,06608
	$5 \cdot 10^4$	10,8198	- 0,7276	0,233431		
$55 \cdot 10^3$					0,250377	21,53242
	$6 \cdot 10^4$	11,0022	- 0,0406	0,483808		
$65 \cdot 10^3$					0,218032	18,75075
	$7 \cdot 10^4$	11,1563	+ 0,5397	0,701840		
$75 \cdot 10^3$					0,149568	12,86284
	$8 \cdot 10^4$	11,2898	+ 1,0425	0,851408		
$85 \cdot 10^3$					0,079977	6,87802
	$9 \cdot 10^4$	11,4076	+ 1,4862	0,931385		
$95 \cdot 10^3$					0,038777	3,33482
	$10 \cdot 10^4$	11,5130	+ 1,8832	0,970162		
$105 \cdot 10^3$					0,017360	1,49296
	$11 \cdot 10^4$	11,6083	+ 2,2421	0,987522		

Glieder dargestellt werden.

Die Ableitung einer auf diesen Fall anzuwendenden Wahrscheinlichkeitsfunktion wird im folgenden Abschnitt gegeben.

2. Die Ableitung des Verteilungsgesetzes für die Lebensdauer des schwächsten Gliedes einer Kette gleicher Glieder

Es wird die Annahme getroffen, dass in einem Werkzeug 2, 3 oder n gleiche Nadeln zum Lochen eingesetzt werden und eine davon das schwächste Glied dieser Kette ist.

Voraussetzungen:

Alle Glieder entstammen der gleichen Grundgesamtheit, deren Verteilung bekannt ist.
Die Verteilung sei eine numerische Normalverteilung.[1)]

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Wert X_1 zwischen dem Wert x_1 und x_1+dx_1 liegt, ist gegeben durch

$$(1)\quad P(x_1 < X_1 < x_1 + dx_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\varphi-\mu}{\sigma}\right)^2} dx_1$$

Die Häufigkeitsdichte für $-\infty < X_1 < +x_1$ ergibt sich aus

$$(2)\quad P(-\infty < X_1 < x_1) = \int_{-\infty}^{x_1} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\varphi-\mu}{\sigma}\right)^2} d\varphi$$

(φ als Integrationsvariable)

Substitution: $\frac{\varphi-\mu}{\sigma} = u \;;\; d\varphi = \sigma \cdot du$

In (2) eingesetzt unter Transformation der Grenzen wird

---

1) Der Koeffizient $\frac{\text{Streuung}}{\text{Mittelwert}}$ für die betrachteten Nadelausfälle ist 0,1.
Das Ergebnis dieser Rechnung gilt für alle Verteilungen. Es wird hier auf der Grundlage der numerischen Normalverteilung entwickelt.

$$P(-\infty < X_1 < x_1) = \int_{-\infty}^{\frac{x_1-\mu}{\sigma}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma} \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} \cdot \sigma \, du$$

$$(3) \qquad = \int_{-\infty}^{\frac{x_1-\mu}{\sigma}} \varphi(u)\, du = \Phi\left(\frac{x_1-\mu}{\sigma}\right)$$

Für ein x_2 gilt nach (3)

$$P(-\infty < X_1 < x_2) = \Phi\left(\frac{x_2-\mu}{\sigma}\right)$$

In einer Kette von zwei Gliedern sind die Werte von X_1 immer kleiner als diejenigen von X_2. X_1 und X_2 entstammen der gleichen Grundgesamtheit. X_2 kann alle Werte von $-\infty$ bis $+\infty$ annehmen.
Die Häufigkeitsverteilung für X_1 lautet nach (2) und (3)

$$(4)\ P(-\infty < X_1 < X_2 < +\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi\left(\frac{x_2-\mu}{\sigma}\right) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_2-\mu}{\sigma}\right)^2} dx_2$$

wobei die extremen Werte sehr geringe Wahrscheinlichkeiten haben.

Substitution: $\dfrac{x_2 \cdot \mu}{\sigma} = u$

Für (4) folgt daraus

$$(5)\ P_i = \int_{+\infty}^{-\infty} \Phi(u) \cdot \varphi(u)\, du = \int_{+\infty}^{-\infty} \Phi(u) \cdot d\Phi; \quad \frac{d\Phi}{du} = \varphi$$

Für $u = -\infty$ ist $\Phi = 0$, für $u = +\infty$ ist $\Phi = 1$.
Damit ist

$$(6)\ P_i = \left[\frac{\Phi^2}{2}\right]_0^1 = \frac{1}{2} - \frac{0}{2} = \frac{1}{2}$$

In 50% aller Fälle ist $X_1 < X_2$.

Das Ergebnis von (6) lässt sich auch mittels partieller Integration erreichen:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Phi \cdot \varphi \cdot d\dot{u}; \qquad U = \Phi \qquad V' = \varphi$$

$$U' = \varphi \qquad V = \Phi$$

$$\int U \cdot V' dx = U \cdot V - \int U' \cdot V dx$$

Daraus folgt

$$(7) \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi \cdot \varphi \cdot d\dot{u} = \Phi \cdot \Phi - \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi \cdot \Phi \, d\dot{u} = \frac{1}{2} \cdot \Phi^2(+\infty) = \frac{1}{2}\left[\Phi^2(\dot{u})\right]_{\dot{u}=-\infty}^{\dot{u}=\infty}$$

$$= \frac{1}{2}$$

Die Verteilung der Ausfallhäufigkeit für das schwächste Glied von 2 Gliedern ergibt sich aus der Produktregel:

$$(8) \quad p(x_1 < X_1 < x_1 + dx_1 \,;\, x_1 < X_2 < +\infty) =$$

$$= \underbrace{\frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_1 - \dot{\mu}}{\sigma}\right)^2}}_{\varphi(x_1)} dx_1 \cdot \underbrace{\int_{x_1}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_2 - \dot{\mu}}{\sigma}\right)^2} dx_2}_{\int_{x_1}^{+\infty} = \int_{-\infty}^{+\infty} - \int_{-\infty}^{x_1}}$$

$$= \varphi(x_1)\, dx_1 \left[1 - \int_{-\infty}^{x_1} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_2 - \dot{\mu}}{\sigma}\right)^2} dx_2\right]$$

Substitution: $\frac{x_2 - \dot{\mu}}{\sigma} = v$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_1 - \dot{\mu}}{\sigma}\right)^2} dx_1 \cdot \left[1 - \int_{-\infty}^{\frac{x_1 - \dot{\mu}}{\sigma}} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{v^2}{2}} \sigma \, dv\right]$$

$$(9) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_1 - \dot{\mu}}{\sigma}\right)^2} dx_1 \cdot \left[1 - \Phi\left(\frac{x_1 - \dot{\mu}}{\sigma}\right)\right] \qquad \text{(nach (3))}$$

Substitution: $\frac{x_1 - \dot{\mu}}{\sigma} = \dot{u}$

In (8) eingesetzt, erhält man

$$p = \varphi(\dot{u}) \cdot \left[1 - \Phi(\dot{u})\right] d\dot{u}$$

Im Ansatz (8) wird vorausgesetzt, dass X_1 kleiner als X_2 ausfällt. Es wird aber die Verteilungsdichte für das kleinere Glied gesucht. Dieses kann sowohl X_1 als auch X_2 sein. Daraus folgt eine Verdoppelung der Verteilungsdichte. Das Ergebnis für P ist nicht auf 1 normiert. Hierfür wird der Normierungsfaktor C eingeführt und im folgenden bestimmt. Aus der Verdoppelung der Verteilungsdichte ergibt sich, wie zu erwarten, der Normierungsfaktor C=2.

Die Verteilung lautet dann

$$(10)\quad f(\dot{u}) = C \cdot \varphi(\dot{u}) \cdot \left[1 - \Phi(\dot{u})\right]$$

Aus (10) lässt sich die Integrationskonstante C berechnen

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(\dot{u})\,d\dot{u} = C \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(\dot{u}) \cdot \left[1 - \Phi(\dot{u})\right] d\dot{u}$$

$$= C \cdot \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(\dot{u})\,d\dot{u} - \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi \cdot \Phi\, d\dot{u} \right\}$$

Nach (5) und (7) ergibt sich

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(\dot{u})\,d\dot{u} = C \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{2} \right\} = C \cdot \frac{1}{2}$$

und C=2; da $\int_{-\infty}^{+\infty} f(u)du$ in der Summe = 1.

In gleicher Weise kann man dann die Verteilung des schwächsten Gliedes einer Kette aus drei gleichen Gliedern finden:

$$(11)\quad f(\dot{u}) = C \cdot \varphi(\dot{u}) \cdot \left[1 - \Phi(\dot{u})\right]^2$$

Für das schwächste Glied einer Kette aus n gleichen Gliedern ergibt sich die Herleitung aus

$$(12)\quad P_n(x_1 \leqq X_1 \leqq x_1 + dx_1;\ x_1 \leqq X_2 \leqq \infty;\ x_1 \leqq X_3 \leqq \infty;\ \ldots\ldots$$

$$x_1 \leqq X_n \leqq \infty) =$$

$$= \varphi(x_1)\,dx_1 \cdot \int_{x_1}^{\infty} \varphi(x_2)\,dx_2 \cdot \int_{x_1}^{\infty} \varphi(x_3)\,dx_3 \ldots\ldots \int_{x_1}^{\infty} \varphi(x_n)\,dx_n$$

Substitutionen: $\tilde{u}_1 = \frac{x_1 - \dot{\mu}}{\sigma}$; $x_2 = \dot{\mu} + \sigma_{\tilde{u}_1}$; $\nu = 2,3,\ldots n$.

$$= \varphi(x_1) \cdot dx_1 \cdot \left[1 - \Phi\left(\frac{x_1 - \dot{\mu}}{\sigma}\right)\right] \cdot \left[1 - \Phi\left(\frac{x_1 - \dot{\mu}}{\sigma}\right)\right] \cdot \ldots\ldots \left[1 - \Phi\left(\frac{x_1 - \dot{\mu}}{\sigma}\right)\right]$$

$$= \varphi(x_1) \cdot dx_1 \left[1 - \Phi\left(\frac{x_1 - \dot{\mu}}{\sigma}\right)\right]^{n-1}$$

Allgemein:

$$(13)\quad P_n = \varphi(\tilde{u}) \cdot \left[1 - \Phi(\tilde{u})\right]^{n-1} d\tilde{u}$$ [1)]

P_n ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass irgendeine gesuchte stochastische Variable X_1 in ein Intervall dx_1 fällt und kleiner ist als die n-1 anderen Variablen, wobei die Reihenfolge der übrigen Variablen unwesentlich ist. Wird jedoch die Wahrscheinlichkeit dafür gesucht, dass irgendeine der n Variablen kleiner als die übrigen ist und in ein Intervall fällt, ergibt das die n-fache Wahrscheinlichkeit von (13):

$$(14)\quad P_n = n \cdot \varphi(\tilde{u}) \left[1 - \Phi(\tilde{u})\right]^{n-1} d\tilde{u};$$

$$(15)\quad f(\tilde{u}) = n \cdot \varphi(\tilde{u}) \left[1 - \Phi(\tilde{u})\right]^{n-1}$$

f(u) ist die Wahrscheinlichkeitsdichte für das erste ausfallende Glied unter n aus der gleichen Grundgesamtheit stammenden Gliedern mit der Wahrscheinlichkeitsdichte der Einzelausfälle φ (u). Jede der Variablen kann die kleinste sein.

Auf die weitere Kurvendiskussion wird hier verzichtet.

---

1) Vgl. dazu auch Lindgren =Statistical Theory= 271 ff.

Für die Formel (15) kann der Mittelwert rechnerisch nicht gebildet werden, da für n Variable ein nicht lösbares Integral erscheint. Der Mittelwert kann nur mittels einer zeichnerischen Näherungslösung bestimmt werden. Für die standardisierte Normalverteilung ist der Mittelwert für $n = 2$ $m_2 = -\frac{1}{\sqrt{\pi}}$ und für $n = 3$ $m_3 = -\frac{3}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi}}$.

Das Verteilungsgesetz kann dort angewendet werden, wo aus einer Kette gleicher Glieder die Wahrscheinlichkeit für den Ausfall des schwächsten Gliedes ermittelt werden soll. Da Formel (15) für alle Verteilungsgesetze gültig ist, kann der Anwendungsbereich auch auf diejenigen Ketten erweitert werden, bei denen für die Ausfallwahrscheinlichkeit des schächsten Gliedes andere Wahrscheinlichkeitsverteilungen gelten.

Ist mit der geschilderten Methode die Wahrscheinlichkeit für den Ausfall eines Mehrfachwerkzeuges ermittelt worden, sind für die Entscheidung, welche Art des Werkzeuges (redundantes Zweitwerkzeug oder Mehrfachwerkzeug) gebaut werden soll, die wahrscheinlichen Ausfallzeiten beider Werkzeuge gegenüberzustellen. Der die Ausfallzeit überbrückende Werkstattbestand für jedes Werkzeug ist zu ermitteln und gibt weitere Hinweise für die Auswahl des richtigen Werkzeuges. [1)]

---

1) Die vorbereitenden Planungs- und Wirtschaftlichkeitsüberlegungen gehen diesen Überlegungen voran.

III. Die Ermittlung von Liegezeiten für Arbeitsobjekte in einer Kostenstelle mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung

1. Determinanten der Werkstattstruktur

Liegezeiten sind bestimmend für die Durchlaufzeit von Arbeitsobjekten und damit für die Kapitalbindung in den Werkstattbeständen. Die Kenntnis der Liegezeiten je Arbeitsobjekt vermittelt wichtige Hinweise auf notwendige Massnahmen zur Verbesserung der Werkstattabläufe.

Bevor eine Analyse der Liegezeiten durchgeführt wird, ist es jedoch sinnvoll, die Struktur der Werkstatt als geschlossenes Gebilde zu untersuchen. Häufig erweist sich, dass die drei Bedingungen für die Normierung der originären Einflussgrössen als erfüllt gelten können, während die abgeleiteten Einflussgrössen weit über dem ursprünglichen Rechenansatz liegen.

Die Untersuchung einer Werkstattstruktur wird als Ergebnis in vielen Fällen eine ungenügende gegenseitige Abstimmung der einzelnen Leistungsprozesse ergeben. Es gibt hierfür vielerlei Gründe, die nicht unbedingt einer mangelnden Planung und Leistungsabstimmung anzulasten sind. Grundsätzlich muss jedoch die Entscheidung getroffen werden, in welcher Grössenordnung erkannte Einflüsse zu optimieren sind, um ein komplexes Optimum des Leistungsprozesses zu erhalten.[1)] Auch diese Entscheidung wird in vielen Fällen eine Optimallösung sein.

Für die vom Verfasser untersuchte Werkstatt galt als Organisationsform die Anordnung der Maschinen nach dem Verrichtungsprinzip. Wegen des stellenweise grossen Platz-

---

1) Vgl. dazu Schweitzer =Reihenfolge= 190.

bedarfes für einzelne Maschinengruppen war die räumliche Ausdehnung sehr gross.

Das Leistungsprogramm umfasste sowohl Einzelfertigung als auch Serienfertigung. Die Stückzahlen der Serien lagen meist unter 100 Stück je Auftrag. Der Anteil der Einzelfertigung an der Gesamtfertigung betrug ca. 28% des Auftragvolumens. Die Auflage der Serien in optimalen Losgrössen war einerseits abhängig von der Kenntnis der Wiederholbarkeit der externen Bestellungen und andererseits von der begrenzten Lagerfähigkeit an den Arbeitsplätzen infolge der Grösse und Sperrigkeit von Arbeitsobjekten. Die Terminstellung für einzelne Aufträge unterlag wechselnden Dispositionen der Geschäftsleitung.[1)]

Die arbeitstechnischen Verfahren umfassen reine menschliche Arbeitsleistungen und in überwiegendem Masse Kombinationen von Mensch-Werkzeug-Arbeit und Mensch-Aggregat-Arbeit. Bei fast allen arbeitstechnischen Verfahren dominiert der menschliche Einfluss. Die notwendige Mechanisierung erfordert in einzelnen Maschinengruppen den Einsatz von Aggregaten mit breit gestreutem Verwendungsspektrum, der wiederum den Rüstzeitanteil erheblich vergrössert.

---

1) Eine so geartete Werkstattstruktur ist sicherlich der Schrecken jeder Fertigungssteuerung. Die Dynamik der technischen Entwicklung jedoch und der Wunsch nach grösster Anpassung an ständig sich verändernde Marktbedingungen führt zu dieser Strukturform, die unter den genannten Voraussetzungen als komplexes Optimum des Leistungsprozesses angesehen werden musste. Die hieraus resultierenden Liegezeiten wurden insofern zur Ermittlung der abgeleiteten Einflussgrössen zweiter Ordnung herangezogen, da die übrigen Voraussetzungen als erfüllt gelten konnten.

2. Die Ermittlungsmethode

Die Liegezeiten je Arbeitsgang wurden mit manuellen Methoden ermittelt. Die Erfassung der Ausgangswerte geschah auf folgende Weise: Den jeweiligen Werkstattunterlagen wird eine gesonderte Terminkarte hinzugefügt, die alle Arbeitsgänge des Auftrages mit den zugehörigen Vorgabewerten enthält. Ein Datumstempel hält den Termin der Erteilung des Auftrages an die Werkstatt nach erfolgter Material- und Werkzeugbereitstellung fest. Nach Erledigung der für diese Werkstatt vorgesehenen Arbeitsgänge schreibt die betreffende Werkstattschreibkraft einen innerbetrieblichen Lieferschein über die Anlieferung beziehungsweise Weiterlieferung der Teile an die vorgesehene nächste Werkstatt. Ein Duplikat dieses Lieferscheines geht an das Terminbüro und löst dort eine weitere Termineintragung auf der Terminkarte aus.

Die Auswertung der Terminkarten innerhalb eines bestimmten Zeitraumes geschieht in der Form, dass für alle Aufträge, die in der beobachteten Werkstatt gefertigt wurden, die Zeitspanne von der Vergabe des Auftrages bis zur Weitergabe der bearbeiteten Teile an die nächste Werkstatt herausgezogen wird.[1] Durch Herausrechnen aller Nicht-Arbeitstage erfolgt eine Reduzierung der Zeitspanne auf reine Arbeitstage, ausserbetriebliche Einflüsse auf die Bearbeitungsdauer sind damit eliminiert. Von den so gewonnenen und in Minuten umgerechneten Zeiten (1 Arbeitstag = 480 min) ist die Summe der Vorgabezeiten aller in der Werkstatt durchgeführten Arbeitsgänge zu subtrahieren. Nach Division der Restzeit durch die Anzahl der Arbeitsgänge des Auftrages erhält man die durchschnittliche

---

1) Vorgabedatum und Lieferdatum werden als voller Tag gerechnet.

Liegezeit je Arbeitsgang und Auftrag.[1] Durch das Herausrechnen aller Vorgabezeiten (einschliesslich eventueller Rüstzeiten) wird bewusst auf eine Differenzierung nach der Stückzahl des Auftrages verzichtet.

Während des beobachteten Zeitraumes blieb der Beschäftigungsgrad der Werkstatt annähernd konstant.[2]

3. Ergebnis und Schlussfolgerungen

Die gewählte Klassenbreite zur Einordnung der durchschnittlichen Liegezeiten in eine Häufigkeitsverteilung beträgt 480 min = ein Arbeitstag. Zur Vereinfachung der Rechnung wird für die Klassenmitte $x=z \cdot 240$ gesetzt. Die Häufigkeit des Auftretens von Liegezeiten in den entsprechenden Klassen für Aufträge mit 6, 3 und 1 Arbeitsgang je Auftrag zeigen die Tabellen 3, 4 und 5.

Für die Häufigkeitswerte muss nun die gültige Wahrscheinlichkeitsfunktion gefunden werden. Die Häufigkeitsverteilungen zeigen, dass mit zunehmender Anzahl der Arbeitsgänge je Auftrag der Mittelwert der Liegezeiten kleiner

---

1) Das Vorgehen zur Nivellierung der Daten mag auf Widerspruch stossen, jedoch ist dabei zu bedenken, dass eine auf Maschinengruppen bezogene Auswertung bei über 30 Maschinengruppen manuell nicht mehr lösbar ist. Es kommt hinzu, dass dann für die Zusammenstellung vertretbarer Grundgesamtheiten ein erheblich längerer Zeitraum beobachtet werden muss, und es ist kaum anzunehmen, dass sich in einem so langen Zeitraum der zu Beginn der Beobachtung vorhandene Datenkranz nicht ändert.

2) Diese Angabe ist wichtig, da festgestellt wurde, dass sich die Liegezeiten mit einer Veränderung des Beschäftigungsgrades ebenfalls ändern. Das vorliegende Beobachtungsmaterial ist zu gering, um daraus bereits Gesetzmässigkeiten ableiten zu können.

wird. Als zutreffende Wahrscheinlichkeitsfunktion kommt die Gamma-Verteilung in die engere Wahl. Für die Gültigkeit einer Gamma-Verteilung sprechen folgende Überlegungen:

1) Es liegt eine kontinuierliche Verteilung vor, als Merkmalswerte können beliebig kleine Zeitgrößen genommen werden.
2) Auf die Liegezeiten der Arbeitsobjekte wirken sich zwei Parameter aus: Ein Parameter ist die Anzahl der Arbeitsgänge je Auftrag und damit dimensionslos, ein weiterer Parameter ist aus dem Einfluß der jeweiligen Beschäftigung herzuleiten[1]. Dieser Parameter hat im angeführten Beispiel die Dimension $\frac{1}{\text{Zeit}}$ und könnte damit zur Kennzeichnung der Beschäftigung als Ausbringungsmenge in der Zeiteinheit herangezogen werden.
3) Es wird die Wahrscheinlichkeit dafür gesucht, daß bis zum Eintreten von x Ereignissen die Zeit T vergeht und $t < T < (t+dt)$ ist. Das ist aber die Umkehrung der Fragestellung, die durch die Poisson-Verteilung beantwortet wird, und führt rechnerisch zur Gamma-Verteilung[2].

Die Parameter sind nach der Momenten-Methode[3] ermittelt worden. Zur Anwendung gelangt die von Fisz[4] angegebene Formel

$$f(x) = \frac{b^p}{\Gamma(p)} \cdot x^{p-1} \cdot e^{-bx}$$

Die Ergebnisse der Rechnung geben die Tabellen 3, 4 und 5 wieder. In Spalte 2 sind die empirischen Häufigkeiten aufgeführt. Spalte 10 weist die mit der Näherungsmethode (x_i = Klassenmitte) errechneten theoretischen Werte aus. Spalte 11 enthält die theoretischen Wahrscheinlichkeiten, wie sie sich aus der Klassenmitte für die Fläche unter der Kurve und den nach der Momenten-Methode geschätzten Parametern ergeben.

---

1) In mehreren Werkstätten wurde vom Verfasser ein Zusammenhang von Liegezeiten und Beschäftigung festgestellt: Bei höherer Beschäftigung stiegen die Liegezeiten an und umgekehrt verringerten sich die Liegezeiten bei sinkender Beschäftigung.
2) Vgl. dazu Fisz = Wahrscheinlichkeitsrechnung = 134
3) Klerk-Grobben = Gamma-Verdeling = 12 ff
4) Fisz = Wahrscheinlichkeitsrechnung = 135

Tabelle 3

1 z	2 f(z)	3 z f(z)	4 z^2	5 z^2 f(z)	6 $z^{0,857}$	7 0,282 z	8 $e^{0,282\,z}$	9 $\frac{z^{0,857}}{e^{0,282\,z}}$	10 Spalte 9 x 10,91	11 Korrigierter Wert der Spalte 10
1	7	7	1	7	1	0,282	1,326	0,754	8,22	8,2459
3	14	42	9	126	2,562	0,843	2,323	1,10	12,03	12,1071
5	9	45	25	225	3,97	1,41	4,096	0,969	10,57	10,6282
7	8	56	49	392	5,30	1,974	7,20	0,736	8,03	8,0533
9	4	36	81	324	6,57	2,54	12,68	0,518	5,65	5,6407
11	4	44	121	484	7,80	3,10	22,19	0,351	3,82	3,7847
13	3	39	169	507	9,00	3,67	39,25	0,229	2,49	2,4342
15	2	30	225	450	10,2	4,23	68,71	0,148	1,61	1,5380
17	1	17	289	289	11,4	4,79	120,3	0,094	1,03	0,9433
19	1	19	361	361	12,5	5,36	212,72	0,058	0,63	0,5256
21	1	21	441	441	13,6	5,92	372,4	0,036	0,23	0,0585
	54	356		3.606						

$\bar{z} = \frac{356}{54} = 6,59$

$\overline{z^2} = \frac{3606}{54} = 66,77$

$\overline{z^2} - \bar{z}^2 = 66,8 - 43,4 = 23,4$

$b^p = 0,282^{1,857} = 0,0956$ $\quad b = \frac{6,59}{23,4} = 0,282$

$\Gamma(p) = 0,9478$ $\quad p = \frac{43,4}{23,4} = 1,857$

$f'(x) = 10,91 \frac{z^{0,857}}{e^{0,282\,z}}$

$\frac{0,0956 \cdot 108}{0,9478} = 10,91$

Korrekturfaktor siehe Blatt 2, Tabelle 4

Häufigkeitsverteilung der Liegezeiten je Arbeitsgang für Aufträge mit 6 Arbeitsgängen.

Tabelle 4-1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
z	f(z)	z f(z)	z^2	z^2 f(z)	$z^{2,97}$	0,319 z	$e^{0,319\ z}$	$\frac{z^{2,97}}{e^{0,319\ z}}$	Spalte 9 x 0,293	Korrigierter Wert der Spalte 10
1	3	3	1	3	1	0,319	1,375	0,727	0,213	0,160
3	3	9	9	27	26,1	0,957	2,600	10,0	2,93	3,46
5	6	30	25	150	119,1	1,595	4,93	22,1	6,48	6,82
7	9	63	49	441	323,5	2,233	9,38	34,9	10,20	10,43
9	11	99	81	891	681,5	2,878	17,78	38,5	11,28	11,48
11	12	132	121	1.452	1.238	3,509	33,45	38,38	11,25	11,45
13	9	117	169	1.521	2.035	4,147	63,24	32,17	9,42	9,67
15	8	120	225	1.800	3.111	4,785	119,70	25,99	7,61	7,91
17	7	119	289	2.023	4.511	5,423	226,5	19,92	5,84	6,21
19	6	114	361	2.166	6.280	6,068	431,8	14,54	4,23	4,69
21	3	63	441	1.323	8.450	6,699	812,0	10,41	3,05	3,60
23	2	46	529	1.058	11.072	7,337	1.536,2	7,21	2,11	2,81
25	1	25	575	575	14.183	7,975	2.909,4	4,87	1,42	2,09
27	1	27	729	729	17.835	8,613	5.502,8	3,24	0,95	1,52
29	1	29	841	841	22.055	9,258	10.487,8	2,10	0,62	0,55
31	1	31	961	961	26.880	9,889	21.785,6	1,23	0,36	0,25
	83	1.027		15.961					77,96	

Häufigkeitsverteilung der Liegezeiten je Arbeitsgang für Aufträge mit 3 Arbeitsgängen.

Tabelle 4-2

$\bar{z} = \frac{1.027}{83} = 12,37$ $\qquad b^p = 0,319^{3,97} = 0,0102$

$\overline{z^2} = \frac{15.961}{83} = 192,3$ $\qquad \Gamma(p) = 5,779$

$\overline{z^2} - \bar{z}^2 = 192,3 - 153,6 = 38,7$ $\qquad \frac{0,0102 \cdot 166}{5,779} = 0,293$

$b = \frac{12,37}{38,7} = 0,319$

$p = \frac{153,6}{38,7} = 3,97$ $\qquad f(x) = 0,293 \cdot \frac{z^{2,97}}{e^{0,319\,z}}$

Die Korrekturen der Spalte 10 aus den Tabellen 3, 4-1 und 5 wurden berechnet aus der Formel (h = Klassenbreite)

$$f'(x) = h \cdot \frac{b^p}{\Gamma(p)} \cdot x^{p-1} \cdot e^{-bx} \cdot \left\{ 1 + \frac{b^2}{3!} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2 \cdot \left[1 - 2 \cdot \frac{(p-1)}{bx} + \frac{(p-1)(p-2)}{(bx)^2} \right] \right.$$

$$+ \frac{b^4}{5!} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^4 \cdot \left[1 - 4 \cdot \frac{(p-1)}{bx} + 6 \frac{(p-1)(p-2)}{(bx)^2} - 4 \cdot \frac{(p-1)(p-2)(p-3)}{(bx)^3} + \frac{(p-1)(p-2)(p-3)(p-4)}{(bx)^4} \right]$$

$$+ \frac{b^6}{7!} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^6 \cdot \left[1 - 6 \frac{(p-1)}{bx} + 15 \cdot \frac{(p-1)(p-2)}{(bx)^2} - 20 \cdot \frac{(p-1)(p-2)(p-3)}{(bx)^3} + 15 \cdot \frac{(p-1)(p-2)(p-3)(p-4)}{(bx)^4} - 6 \frac{(p-1)(p-2)(p-3)(p-4)(p-5)}{(bx)^5} \right.$$

$$\left. \left. + \frac{(p-1)(p-2)(p-3)(p-4)(p-5)(p-6)}{(bx)^6} \right] + \frac{b^8}{9!} \cdot \ldots\ldots \right\}$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
z	f(z)	z f(z)	z^2	z^2 f(z)	$z^{4,24}$	0,308 z	$e^{0,308\ z}$	$\frac{z^{4,24}}{e^{0,308\ z}}$	Spalte 9	Korrigierte Werte der Spalte 10
1	0	0	1	0	1	0,308	1,362	0,735	0,006	0
3	2	6	9	18	100,7	0,924	2,519	39,97	0,36	0,36
5	2	10	25	50	357,1	1,504	4,499	79,37	0,71	0,71
7	3	21	49	147	3.831	2,156	8.636	443,6	4,01	4,15
9	3	27	81	243	11.117	2,772	15,99	695,2	6,28	6,25
11	7	77	121	847	26.030	3,388	29,66	877,6	7,93	7,87
13	9	107	169	1.521	52.856	4,004	54,6	968,1	8,75	8,67
15	10	150	225	2.250	96.965	4,620	101,5	955,3	8,63	8,56
17	8	136	289	2.312	164.840	5,236	187,9	877,3	7,93	7,87
19	8	152	361	2.888	264.180	5,852	348,8	757,4	6,85	6,82
21	6	126	441	2.646	403.850	6,468	606,9	665,4	6,01	5,98
23	5	115	529	2.645	593.925	7,084	1.102,8	538,6	4,87	4,84
25	3	75	575	1.725	845.780	7,700	2.208,3	383,0	3,46	3,72
27	3	81	729	2.187	1.171.900	8,316	4.030	290,8	2,62	3,09
29	2	58	841	1.682	1.586.900	8,932	7.578	209,4	1,89	2,67
31	1	31	961	961	2.105.500	9,548	13.065	161,2	1,46	2,46
33	1	33	1.089	1.089	2.744.750	10,16	25.852	106,2	0,96	0,94
35	1	35	1.225	1.225	3.522.500	10,78	48.066	73,28	0,07	0,07
37	1	37	1.369	1.369	4.458.500	11,39	88.445	50,40	0,05	0,05
	75	1.277		25.805						

b = 0,308

p = 5,24

$\overline{z^2} - \bar{z}^2 =$ 54,38

Häufigkeitsverteilung der Liegezeiten je Arbeitsgang für Aufträge mit 1 Arbeitsgang.

Die Werte der Tabelle 3 wurden einem χ^2-Test unterworfen.[1] Bei einem gewählten α von 0,025 und einem Freiheitsgrad von k'-1-r- = 6-1-4 = 1 ergab die Rechnung für $\chi^2 = 2{,}44$. Unterschiede zwischen der theoretischen und der beobachteten Verteilung sind wegen 2,44 < 5,0 nicht gesichert.[2][3]

Aus den gefundenen Werten können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden: Der Parameter b bleibt für alle drei Kurven in Grenzen konstant. Die Überprüfung der ermittelten Werte der Kurven für 2, 4 und 5 Arbeitsgänge gab ebenfalls um 0,3 oszillierende Werte. b erhält die reziproke Dimension von x, also $\frac{1}{\text{Zeit}}$. Der Parameter kann damit zur Kennzeichnung des Beschäftigungsgrades herangezogen werden. Der Weg zur Überprüfung dieser Hypothese ist folgender: Der gemessene Parameterwert von 0,3 wird dem für die Zeit der Aufnahme vorhandenen Beschäftigungsgrad der beobachteten Werkstatt gleichgesetzt. Mit den ermittelten Parametern p werden Kurvenwerte errechnet und mit den tatsächlichen Werten bei wechselndem Beschäftigungsgrad verglichen. Nach einer Reihe von Beobachtungen kann die Hypothese durch Abschätzung der Güte der Übereinstimmung

---

1) Vgl. dazu auch
Graf/Henning =Statistische Methoden= 151 ff.
k' = Anzahl der zusammengefaßten Klassen
r = Zahl der Schätzwerte aus der Stichprobe

2) Zur Abweichung von Grundgesamtheiten von der Normalverteilung vgl. auch
Graf/Henning =Statistische Methoden= 72 - 73, 38.

3) Die theoretisch errechneten Werte der Gamma-Verteilung können mit dem Smirnow-Kolmogoroff-Test überprüft werden. Dieser Test besteht in einem Vergleich der relativen Summenhäufigkeit der (errechneten) Stichprobe mit der Summenhäufigkeit einer ausgewählten Verteilung. Es wird damit die Hypothese geprüft, dass mit einer festgelegten statistischen Sicherheit die Stichprobe aus dieser ausgewählten Grundgesamtheit stammt.
Vgl. dazu
Lindgren =Statistical Theory= 334 ff.
Wetzel =Statistische Tabellen= 9 und 34
Pearson =Tables=.

zwischen den erwarteten und beobachteten Werten für b überprüft werden.[1)]

Der Parameter p ist dimensionslos und kennzeichnet die Zahl der Arbeitsgänge je Auftrag. p wird grösser bei abnehmender Anzahl der Arbeitsgänge je Auftrag:

6 Arbeitsgänge: p = 2
3 Arbeitsgänge: p = 4
1 Arbeitsgang: p = 5.

Die Mittelwerte für Liegezeiten betragen bei Aufträgen mit 6 Arbeitsgängen 3,3 Arbeitstage je Arbeitsgang, Aufträgen mit 3 Arbeitsgängen 6,2 Arbeitstage je Arbeitsgang und Aufträgen mit 1 Arbeitsgang 8,5 Arbeitstage. Die Streuung wird mit abnehmender Zahl der Arbeitsgänge grösser, was sich zwingend aus der Formel und bei gleichbleibendem b ergibt.

Die Analyse der Liegezeiten auf Erfüllung der Kapazitätsbedingung, der technischen und organisatorischen Bedingung ergab keine Beanstandungen.

---

1) Die Vermutung, dass der Parameter b den Beschäftigungsgrad bei dieser Untersuchung kennzeichnet, kann vom Verfasser statistisch nicht nachgewiesen werden. Als Vergleich kommen nur gleiche Zeiträume in Betracht (1 1/2 Jahre), für die kein statistisches Material vorlag. Für die Vermutung spricht, dass Änderungen von b bei gleichbleibendem p die Lage der Kurve im Koordinatenkreuz nur wenig verändern, während durch den Parameter p die Kurve selber charakterisiert wird (für p = 1 geht die Gamma-Verteilung in eine Exponentialverteilung über).
Weitere Literatur zur Gamma-Verteilung findet sich bei Lindgren =Statistical Theory= 141, 279,
Weatherburn =Mathematical Statistics= 149 ff,
Holt =Planning Production= 251 - 257, 287 - 288, 291 - 292.

Das überraschende Ergebnis veranlasste eine sorgfältige Untersuchung der abgeleiteten Einflussgrössen erster und zweiter Ordnung. Hierbei zeigte sich, dass die Reihung der Arbeitsobjekte ausschliesslich nach Termingesichtspunkten erfolgt war. Dabei unterlagen einige nicht straff termingebundene Aufträge einer gewissen Auswahl durch die Werkstattaufsicht.[1] Fast alle Aufträge durchliefen eine Engpass-Maschinengruppe, die zudem hohe Ausfallzeiten hatte.[2] Im übrigen liessen sich wegen der gegebenen Werkstattstruktur kurzfristig keine Verbesserungen erzielen.

Die Gültigkeit der Gamma-Verteilung für die Häufigkeitsverteilung von Liegezeiten je Arbeitsgang und Auftrag der untersuchten Werkstatt darf nicht verallgemeinert werden. Aus der Struktur anderer Stellenmehrheiten können sich unterschiedliche Verteilungsgesetze ergeben, deren Ergebnisse zu anderen Schlussfolgerungen führen.[3]

IV. Die Ergebnisse von Wahrscheinlichkeitsfunktionen als Parameter bei der Optimierung von Werkstattbeständen

1. Die Anwendungsmöglichkeit der Ergebnisse und ihr Gültigkeitsbereich

Die Frage nach der Gültigkeit von Ergebnissen der Wahr-

---

1) Es stellte sich heraus, dass Aufträge mit mehreren Arbeitsgängen sich einer grösseren Beliebtheit bei den Arbeitskräften erfreuten. Es lag nur geringe Arbeitsteilung vor.

2) Hieraus ergeben sich Anknüpfungspunkte für Redundanz-Untersuchungen und so weiter.

3) Untersuchungen in Werkstätten mit Einzel- und Serienfertigung und ähnlicher Struktur bestätigten häufig, nach Eliminierung beziehungsweise Normierung der anderen Einflussgrössen, eine Abhängigkeit der Liegezeiten vom Beschäftigungsgrad bei konstanter Werkstattstruktur und von der Anzahl der Arbeitsgänge je Arbeitsobjekt. Verteilungsfunktionen für Liegezeiten von Relaisschienen und Relaisgestellen finden sich im Anhang.

scheinlichkeitsrechnung für die quantitative Kennzeichnung künftiger Vorgänge fordert sofort die Frage nach der Bedeutung des Begriffes Wahrscheinlichkeit heraus. Der Wahrscheinlichkeitsbegriff als mathematische Kategorie kann auf Grund seiner Axiome auf eine inhaltliche Explikation verzichten. Die Definitionen sind rein analytisch und lassen lediglich Aussagen über Wahrscheinlichkeitsbeziehungen zu. Die implizite Definition reicht in der mathematischen Kategorie zur Charakterisierung des Wahrscheinlichkeitsbegriffes aus.

Bei der Verwendung von Wahrscheinlichkeitswerten für die Entscheidungsfindung muss die Frage nach der Geltung und Anwendung der Wahrscheinlichkeit gestellt und die Bedeutung und der Sinngehalt der Wahrscheinlichkeitsurteile geklärt werden. Hier scheint aber eine Lücke zu klaffen zwischen den präzisen Aussagen einer axiomatisierten Wahrscheinlichkeitsrechnung und der Wahrscheinlichkeitstheorie.[1] Selbst Mathematiker versuchen des öfteren, den Sinngehalt der Wahrscheinlichkeit durch eine Wahrscheinlichkeitstheorie zu stützen. Vom Standpunkt des klassischen Erkenntnisideals her wird dem wahrscheinlichkeitstheoretisch gewonnenen Wissen seine Unsicherheit und Fehlerhaftigkeit, entweder wegen der Unvollständigkeit der Informationen oder aus der Ableitung des Wissens mit Hilfe wahrscheinlicher Folgerungen, vorgeworfen. Auf der anderen Seite sollen die Axiome der Wahrscheinlichkeitsrechnung mit einer Angabe der Grenzen für ihre Gültigkeit der Wirklichkeit genügen. Die Axiome beanspruchen dabei nicht, für bestimmte Seinsbereiche evident zu sein, sondern sie wollen geeignete Voraussetzungen schaffen für die Abgrenzung bestimmter Begriffe und die Möglichkeit geben, Aussagen mit Hilfe dieser Begriffe aufzustellen.

---

1) Vgl. dazu die Beiträge von
van der Waerden =Begriff= 65 - 68,
Erisman =Sein und Denken= 88 - 109.

Doch selten treten dabei so viele Schwierigkeiten auf wie bei der Wahrscheinlichkeitsrechnung, da nicht einmal in der Metawissenschaft, der Philosophie, über die Begriffserklärung Einigkeit erzielt werden kann.[1)]

> "Die Wahrscheinlichkeitsrechnung hat also stets und besonders, wenn ihr ein neues Feld der Anwendung gegeben wird, eine Erörterung nötig, worin die Gültigkeit ihrer Berechnungen genau festgestellt wird."[2)]

Diese Erklärung von Cantor befriedigt nicht, sie transferiert das Problem in die Sphäre der Anwendung und überlässt es dem Anwendenden, die Prämissen und den Sinngehalt zu bestimmen.

Die Uneinheitlichkeit der Begriffsexplikationen wird noch grösser, wenn man die in der Literatur oft vorgenommene Trennung von Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematischer Statistik und der dafür gegebenen Definitionen für die Erklärung der Wahrscheinlichkeit mit heranzieht. So bezeichnet Fisz[3)] die Wahrscheinlichkeitsrechnung als Methode zur Untersuchung von Gesetzmässigkeiten unter zufälligen Ereignissen. Die Untersuchung ist als eine mathematische Theorie aufgebaut, in welcher der abstrakte Wahrscheinlichkeitsbegriff dem in der Wirklichkeit beobachteten Häufigkeitsbegriff entspricht. Die mathematische Statistik hat dagegen die Aufgabe, Schlussfolgerungen von der beobachteten Stichprobe auf die unbekannte Grundgesamtheit zu ermöglichen.

Weatherburn[4)] bezeichnet als mathematische Statistik die Grundlagen für die Beschreibung von statistischen Werten,

---

1) Vgl. dazu auch die Beiträge von van der Waerden =Begriff=; Strohal =Bemerkungen=; Vietoris =Wahrscheinlichkeit=; Erisman =Wahrscheinlichkeit=; Stegmüller =Wahrscheinlichkeitsproblem=.
2) Cantor =Historische Notizen= 366.
3) Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 3, 275.
4) Weatherburn =Mathematical Statistics= XIII.

während Pfanzagl [1] es für naheliegend hält, die Wahrscheinlichkeit als Grenzwert der relativen Häufigkeit zu bezeichnen. [2] Weitere Beispiele für unterschiedliche Auffassungen der Begriffe mathematische Statistik und Wahrscheinlichkeit gibt Anderson. [3]

Dennoch erscheint es zweckmässig, die Aussage von Cantor einzugrenzen, ohne den erkenntnis- oder wissenschaftstheoretischen Raum zu berühren. Grundsätzlich werden zweierlei Wahrscheinlichkeiten benutzt: Mit der Wahrscheinlichkeitsrechnung werden Aussagen über beobachtete zufällige Ereignisse getroffen, für die Anwendung des Wahrscheinlichkeitsbegriffes auf die unbekannte Grundgesamtheit muß das abstrakte Wahrscheinlichkeitsmodell mit Hilfe der statistischen Methoden interpretiert werden. Zum anderen wird der Begriff der Wahrscheinlichkeit benutzt, um von einer beobachteten und damit bekannten Stichprobe auf eine zukünftige zu schließen. Das ist aber nur dann richtig, wenn das Ursachensystem in der Zukunft konstant bleibt, [4] das heißt die Grundgesamtheit auch für die Zukunft unverändert gültig ist. So hat die Anwendung der aus einer Beobachtungsreihe gewonnenen Daten für die Häufigkeitsverteilung von Liegezeiten in einer Werkstatt und deren Übertragung auf künftig zu erwartende Liegezeiten nur dann realen Sinn, wenn die Struktur der Werkstatt auch für den zukünftigen Zeitraum in Grenzen unverändert bleibt. Diese Problemstellung hat Carnap im Rahmen der induktiven Logik mit der Trennung der beiden Wahrscheinlichkeiten konsequent weiter verfolgt. Anderson sieht für den Bereich der sozialstatistischen Forschung die Grenzen noch enger. Er definiert deshalb den Begriff der sozialstatistischen Wahrscheinlichkeit:

---

1) Pfanzagl =Methodenlehre= II, 8.
2) Vgl. dazu auch von Mises =Grundlagen= 57 ff.
3) Anderson =Probleme= 16 - 19, 97 - 100.
4) Vgl. dazu Pfanzagl =Methodenlehre= I, 156 ff.

"Wahrscheinlichkeit eines Merkmals beziehungsweise einer Eigenschaft im Bereiche einer sozialstatistischen Gesamtheit ist seine Häufigkeit in einer anderen Gesamtheit höherer Ordnung, aus der die gegebene entstanden ist. Ihr Entstehungsweg ist für die praktischen Anwendungen der Wahrscheinlichkeitstheorie genauer zu präzisieren. Die Gesamtheit höherer Ordnung kann je nach den konkreten Umständen beliebig gross sein."[1)]

Diese von Anderson vorgenommene Eingrenzung der Cantor'schen Forderung kann noch enger gefasst werden. In einem früheren Abschnitt wurde bereits erläutert, dass die Struktur einer Werkstatt, ihre Organisation, ein System ist.[2)] Jedes System wird aber von der Zielrichtung seines Umsystems bestimmt. Fasst man die bei Anderson vorgestellte Gesamtheit höherer Ordnung als das ein System bestimmende Umsystem auf, dann lässt sich die Formulierung von Cantor wie folgt interpretieren:

Für jeden Wahrscheinlichkeitswert, der auf Grund einer Beobachtungsreihe einem Verteilungsgesetz gehorcht, muss bei dessen Anwendung auf zukünftige Ereignisse die Gültigkeit des bei der Beobachtung vorliegenden Umsystems auch für diese zukünftigen Ereignisse nachgewiesen werden. Ist das nicht möglich, muss eine Hypothese zum Grad der Übereinstimmung von beobachtetem und zukünftigem Umsystem gemacht werden.

Diese Forderung führt zwangsläufig zu Wahrscheinlichkeitsaussagen, wobei nicht ausgeschlossen werden darf, dass der Grad der Übereinstimmung von zukünftigem und beobachtetem Umsystem ebenfalls eine Wahrscheinlichkeitsaussage sein kann.

---

1) Anderson =Probleme= 100.
2) Vgl. Abschnitt D I, 1, S. 90

So stehen sich zwei Wahrscheinlichkeitsbegriffe gegenüber:
Ein axiomatischer Wahrscheinlichkeitsbegriff, dessen Inhalt durch die Axiome der statistischen Wahrscheinlichkeitstheorie festgelegt wird und ein Wahrscheinlichkeitsbegriff, der bei seiner Anwendung auf zukünftig zu erwartende Ereignisse über die streng mathematische Axiomatik hinaus die Berechtigung seiner Verwendung inhaltlich aus der Übereinstimmung von beobachteten und künftigen Umsystemen herleiten muss.

Aus dieser Trennung der Wahrscheinlichkeitsbegriffe erklärt sich auch der Gegensatz zwischen der klassischen und der axiomatischen Wahrscheinlichkeitstheorie:
Die axiomatische Wahrscheinlichkeitstheorie bildet das Umsystem zur (axiomatischen) Wahrscheinlichkeitsrechnung; dieses Insystem wird durch die Axiome des Umsystems bestimmt. In der klassischen Wahrscheinlichkeitslehre werden jedoch in Form einer Diallele für die Erklärung des Systems Wahrscheinlichkeitsrechnung die selben Theoreme herangezogen wie zur Erklärung des Umsystems Wahrscheinlichkeitstheorie.

Die auf den folgenden Seiten angestellten Überlegungen unterstellen die Gültigkeit des bei der Beobachtung wirksamen Umsystems auch für den zukünftigen Planungszeitraum, soweit nicht axiomatische Wahrscheinlichkeitsbegriffe vorliegen.

2. Die Anwendung der Ergebnisse in der Fliessfertigung

Als Fliess- oder Taktfertigung wird eine Fertigung mit homogenen Massenleistungen oder homogen gruppierten Sortenleistungen bezeichnet.[1] Werkstattorganisation,

---

1) Vgl. dazu Kalveram =Industriebetriebslehre= 56.

Leistungsprogramm und arbeitstechnische Verfahren liegen für längere Zeit fest. Es ist deshalb nach den oben postulierten Voraussetzungen zulässig, Werte aus Verteilungsgesetzen als Wahrscheinlichkeitswerte einzusetzen.

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung dient bei dieser Art von arbeitstechnischen Verfahren der Bestimmung der Wahrscheinlichkeit von Fehlern und Ausfällen innerhalb der Fliessfertigungsreihe und der Ermittlung der Grössenordnung von organisatorischen Lagern. Diese sollen mit einer bestimmten statistischen Sicherheit die wahrscheinlichen Ausfälle decken und eine Störung oder Unterbrechung der Fliessreihe verhindern.

Da in der Fliessfertigung eine pausenlose Aneinanderreihung von Arbeitsobjekten und Arbeitsgängen erfolgt, wird der Werkstattbestand nur vom Materialwert, der Anzahl der Takte und dem proportionalen Wertfaktor je Arbeitszeiteinheit bestimmt. Bei einer Werkstatt mit 10 Arbeitsplätzen in Fliessfertigung, einer Taktzeit von 12 Minuten, einem Materialeinsatz von DM 50,-- zu Beginn der Fliessreihe[1] sowie dem Wertfaktor[2] von DM 3,-- je Stunde ergibt sich ein Werkstattbestand ohne Zwischenlager im Wert von DM 583,--.

Wird zum Beispiel festgestellt, dass zwischen Arbeitsgang 6 und 7 Störungen auftreten[3], deren Beseitigung im Mittel 24 Minuten beträgt, dann müssen an dieser Stelle drei

---

1) Die benötigten Einzelteile werden komplett auf den Anfang des Fliessbandes gelegt = 1 Arbeitstakt, der Materialwert für ein Gerät soll als unmittelbare Bereitstellung dienen.
2) Der proportionale Wertfaktor wird hier aus dem durchschnittlichen Lohnsatz je Arbeitsstunde, den proportionalen Gemeinkosten sowie einem aus der durchschnittlichen Arbeitsleistung eines Jahres ermittelten und auf Arbeitsstunden umgerechneten Kostenanteiles für fixe Gemeinkosten errechnet.
3) Zum Beispiel der Ausfall eines Prüfgerätes.

Arbeitsobjekte lagern, die bis Arbeitsgang 6 einschliesslich fertig sind. Die Werte dieser Arbeitsobjekte werden dem Werkstattbestand hinzugefügt und ergeben in der Summe den normierten Bestand dieser Werkstatt = DM 945,60.

Für die Ermittlung der benötigten Mengen an Arbeitsobjekten zur Deckung möglicher Ausfälle kann ein einfaches Verfahren verwendet werden.

Beispiel:
Fertigungsstufe A[1)] mit isotaktischen Gangfolgen versorgt Fertigungsstufe B, die ebenfalls isotaktische Gangfolgen einhält. Zwischen beide Fertigungsstufen soll ein organisatorisches Lager geschaltet werden. Dessen Umfang soll so gross sein, dass die Differenz aus den möglichen Störungen in der Fertigungsstufe A und den möglichen Störungen in der Fertigungsstufe B mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit gedeckt wird.

Dieses Problem lässt sich mit einer einfachen Methode lösen, die auf der Differenzrechnung von zwei normalverteilten Stichproben beruht.

Es ist zu Beginn der Rechnung zu prüfen, ob die ermittelte Wahrscheinlichkeitsfunktion der Ausfälle mit einem Grenzwertsatz durch eine Normalverteilung approximiert werden kann. Selbst wenn dieser Nachweis nicht möglich ist, kann bei der Fliess- oder Taktfertigung wegen des kontinuierlichen Zeitablaufs und des sehr grossen Stichprobenumfanges die Voraussetzung zugelassen werden, dass das Stichprobenmittel normalverteilt ist. Die beiden Voraussetzungen können in folgender Weise erklärt werden:

---

1) Zum Beispiel Fertigungsstufe A = Arbeitsgänge 1-6
Fertigungsstufe B = Arbeitsgänge 7-10

Voraussetzung 1): Die Fliess- oder Taktfertigung lässt sich durch örtliche und zeitliche Lückenlosigkeit kennzeichnen. Örtliche Lückenlosigkeit muss als räumliche Folge der Arbeitsgänge bezeichnet werden, wobei an Nahtstellen auch grössere Zwischenräume zu überbrücken sind. Zeitliche Lückenlosigkeit bedeutet die Leistungsabstimmung aller Gangfolgen, wobei die Betonung auf Abstimmung der zeitlichen Folge liegt. Unter dieser Annahme kann die Voraussetzung 1) als gegeben betrachtet werden.

Voraussetzung 2): Die Taktfertigung ist das arbeitstechnische Verfahren bei homogenen oder homogen gruppierten Massenleistungen. Für diese Leistungsart geht der Umfang n der Stichproben gegen ∞. Voraussetzung 2) ist als erfüllt anzusehen.

Die Differenz zweier normalverteilter Stichproben ist ebenfalls normalverteilt mit dem Mittelwert 0.[1] Für die Standardabweichung der Differenz gilt

$$\sigma_D^2 = \frac{\sigma_{x_1}^2}{n_1} + \frac{\sigma_{x_2}^2}{n_2}$$

Für die Berechnung von σ_D werden die Ausfälle der Fertigungsstufe A und die Ausfälle der Fertigungsstufe B registriert sowie die jeweiligen Standardabweichungen errechnet. Der aus der angegebenen Formel für σ_D ermittelte Wert muss jetzt noch mit einem Faktor multipliziert werden, der sich aus der gewünschten Sicherheitsgrenze ergibt und als tabellierter Wert für $\Phi(x)$ den Tafeln für die Normalverteilung zu entnehmen ist. Der Faktor beträgt zum Beispiel bei einer gewünschten Sicherheit von 99% für die Deckung der Ausfalldifferenz von Fertigungsstufe A und B f=2,33.[2]

---

1) Pfanzagl =Methodenlehre= II, 54.
2) Ein ausführliches Beispiel findet sich in Lemân =Bereitstellung= 42 ff.

3. Die Anwendung der Ergebnisse in der Einzel- und Serienfertigung

Die vielschichtigen und in ihrer Frequenz häufig modulierten und überlagerten Vorgänge in der Einzel- und Serienfertigung erschweren die Anwendung der Ergebnisse aus Häufigkeitsrechnungen.

An erster Stelle steht immer die Frage, in welchem Umfang die aus den Stichproben gewonnenen Werte als Grössen für künftige Stichproben eingesetzt werden dürfen.

Die mit den Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung gewonnenen Werte können auf diese Eignung hin mathematisch überprüft werden. Für diesen Zweck stehen zwar die von der mathematischen Statistik ausgearbeiteten Methoden zur Verfügung.[1] Trotzdem muss darüber hinaus aber immer die Gültigkeit der errechneten Werte auf künftige Ereignisfolgen bewiesen werden. Wie bereits ausgeführt, muss die Übereinstimmung von beobachteter Werkstatt und zukünftiger Werkstatt in der Werkstattorganisation, den arbeitstechnischen Verfahren und auch im Beschäftigungsgrad in Grenzen gegeben sein. Alle Übereinstimmungen sind im wahrscheinlichkeitstheoretischen Sinn als langfristig anzusetzen, da gerade die kurzfristigen zufälligen Veränderungen das Gesamtbild verzerren.

Das nächste Problem ist das Einstellen der gewonnenen Parameter in die rechnerische Ermittlung von Durchlaufzeiten mit den Folgerungen auf die Werkstattbestände. Dieses Problem kann von zwei Ausgangspunkten her gelöst werden.

---

1) Aus der umfangreichen Literatur zur mathematischen Statistik seien nur einige Veröffentlichungen angeführt: Fisz =Wahrscheinlichkeitsrechnung= 275 ff, Wallis =Statistik=, Pfanzagl =Methodenlehre= 48 ff u.a.

Ein Beispiel soll zur Erläuterung dienen:
Die für eine Grundgesamtheit geltende Versagenswahrscheinlichkeit eines Aggregates sei p=0,1. Das heisst, in 10% aller betrachteten Fälle tritt ein Versagen der Maschine ein. Das Versagen bedeutet hierbei Ausfall des Aggregates. Über den Zeitraum des Ausfalles bis zum Wiedereinsatz des Aggregates ist noch keine Aussage möglich. Diese lässt sich erst durch eine Häufigkeitsverteilung für die Dauer von Reparaturen ermitteln. Der Mittelwert einer solchen Häufigkeitsverteilung sei t_r=1 Tag.

Wenn die Grundgesamtheit die Dimension Zeit hat, dann lautet das Ergebnis mit den bisherigen Werten: Für eine Stichprobe von 200 Tagen fällt das Aggregat an 20 Tagen aus (10%) mit einer durchschnittlichen Ausfalldauer von insgesamt 20 Tagen. Einem Auftrag, dessen Summe aller t_A=200 Tage ist, müsste eine zusätzliche Liegezeit von 20 Tagen zugerechnet werden. Damit verzögert sich bei demselben Arbeitsobjekt auf dem gleichen Aggregat der Termin der Fertigstellung um 20 Tage. Dieser Sonderfall kommt aber in der Einzelfertigung selten vor. Häufiger tritt die Fertigung von gleichen Arbeitsobjekten mit gleichen Arbeitsgängen auf der gleichen Maschine auf.[1] Hierbei muss jedem Einzelauftrag ein Anteil der wegen Ausfall des Aggregates zu erwartenden Liegezeit zugeordnet werden.

Voraussetzung für die Lösung der Aufgabe ist, dass Anzahl und Umfang der Aufträge, die auf dem betreffenden Aggregat im kommenden Zeitraum gefertigt werden sollen, bekannt sind. Die Ausfallhäufigkeit von insgesamt 20 Tagen gibt aber keine Auskunft über den Zeitpunkt eines Ausfalles. Deshalb wird die Wahrscheinlichkeit dafür ge-

---

1) Zum Beispiel das Drehen von Generatorgehäusen auf einer Karussell-Drehbank.

sucht, wieviel Tage vergehen müssen, um m Ausfallereignisse eintreten zu lassen.

Das Problem lautet in anderer Formulierung:
Eine Grundgesamtheit enthält X Elemente = Anzahl der Tage einschließlich der Ausfalltage, die zur Anfertigung der vorgesehenen n Aufträge notwendig sind. In dieser Stichprobe befinden sich Y Elemente mit der Eigenschaft E = Anzahl der Tage mit der Eigenschaft störungsfrei beziehungsweise Summe der t_A-Werte aller n Aufträge. Es wird die Wahrscheinlichkeit dafür gesucht, dass für y störungsfreie Tage x Arbeitstage aufgewendet werden müssen. Die Lösung wird durch die negative hypergeometrische Verteilung gegeben. [1)]

Analog den Bedingungen bei der Formulierung der negativen Binominalverteilung gilt auch hier:

1) Unter den ersten x-1 Tagen sind y-1 Ereignisse und
2) der letzte beziehungsweise x-te Tag hat ein Ereignis.

Mathematisch ausgedrückt lautet die Bedingung 1) und 2)

$$(1)\quad f(x) = f\begin{pmatrix} X := X \\ Y := Y \\ \\ x := x-1 \\ y := y-1 \end{pmatrix} \cdot f \begin{pmatrix} X := X-(x-1) \\ Y := Y-(y-1) \\ \\ x := 1 \\ y := 1 \end{pmatrix}$$

---

1) Zur Anwendung der hypergeometrischen Verteilung führten folgende Überlegungen:
Werden von zweihundertzwanzig Arbeitstagen zwei beliebige Arbeitstage nacheinander herausgesucht und diese geprüft, ob sie Ausfalltage sein können, hängt die Wahrscheinlichkeit, daß auch der zweite Tag ein Ausfalltag ist davon ab, ob der erste Tag ein Ausfalltag war oder nicht. Wegen dieser Abhängigkeit ist die Binominalverteilung unzutreffend. Es liegen hier nicht unendlich viele voneinander unabhängige Realisationen ein und derselben zufälligen Variablen vor, sondern nur eine Stichprobe mit dem Umfang 220 Arbeitstage. Es wird eine Verteilung der Ausfalltage in n Arbeitstagen gesucht unter der Voraussetzung, daß genau p . N Ausfälle in N Arbeitstagen beobachtet werden.
Vgl.auch Lindgren =Statistical Theory= 70 ff, 306-307

Daraus wird für

$$(2)\quad f(x) = \frac{\binom{Y}{y-1}\cdot\binom{X-Y}{(x-1)-(y-1)}}{\binom{X}{x-1}} \cdot \frac{\left[Y-(y-1)\right]\cdot 1}{X-(x-1)}$$

$$(3)\quad = \frac{Y!\cdot(X-Y)!\cdot(x-1)!\left[X-(x-1)-1\right]!}{(y-1)!\cdot\left[Y-(y-1)-1\right]!\cdot(x-y)!\cdot\left[(X-x)-(Y-y)\right]!\cdot X!}$$

Gleichung (3) lässt sich in Binominalkoeffizienten schreiben:

$$(4)\quad \frac{(x-1)!}{(y-1)!\cdot\left[(x-1)-(y-1)\right]!} \cdot \frac{(X-x)!}{\frac{X!}{Y!(X-Y)!}\cdot(Y-y)!\cdot\left[(X-x)-(Y-y)\right]!}$$

$$(5)\quad = \frac{\binom{x-1}{y-1}\cdot\binom{X-x}{Y-y}}{\binom{X}{Y}}$$

Für den Mittelwert $\bar{x}$ erhält man

$$(6)\quad \bar{x} = \sum x\cdot f(x) = \frac{1}{\binom{X}{Y}}\cdot\sum x\binom{x-1}{y-1}\cdot\binom{X-x}{Y-y}$$

$$= \frac{1}{\binom{X}{Y}}\cdot\sum_{x=y}^{y+X-y}\frac{x(x-1)!}{(y-1)!(x-y)!}\cdot\binom{X-x}{Y-y}$$

Nach Umformung und Zusammenfassung wird aus (6)

$$(7)\quad \bar{x} = y\frac{\binom{X+1}{Y+1}}{\binom{X}{Y}} = y\cdot\frac{(X+1)!\cdot Y!\cdot(X-Y)!}{(Y+1)!\cdot\left[(X+1)-(Y+1)\right]!\cdot X!}$$

$$\bar{x} = y\cdot\frac{X+1}{Y+1}\ ^{1)}.$$

Wendet man das Ergebnis auf das vorliegende Problem an, dann bedeutet das, daß im Mittel jede Summe der

---

1) Auf eine weitere Kurvendiskussion soll hier verzichtet werden.

t_A-Werte jedes Auftrages, die auf diesem Aggregat bearbeitet werden, um den Faktor $\frac{X+1}{Y+1} = \frac{220+1}{200+1}$ verlängert werden muss.

Die Liegezeit T_L je Auftrag, die durch Störungen des Aggregates verursacht wird, ist im Mittel

$$(1)\quad \overline{T}_L = \frac{\sum_1^i t_A}{\frac{\left(\sum_1^n \sum_1^i t_A\right) + 1}{\left(\sum_1^n \sum_1^i t_A\right) + \left(t_M + 1\right)}} - \sum_1^i t_A$$

t_A = Zeitdauer des Arbeitsganges je Arbeitsobjekt auf einem Aggregat

i = Anzahl der Arbeitsgänge je Auftrag auf diesem Aggregat

n = Anzahl der Aufträge, die im betrachteten Zeitraum auf diesem Aggregat durchgeführt werden sollen

t_M = Ausfalldauer des Aggregates im betrachteten Zeitraum

Die Formel kann noch vereinfacht werden:

$$(2)\quad \overline{T}_L = \sum_1^i t_A \cdot \frac{\left(\sum_1^n \sum_1^i t_A\right) + \left(t_M + 1\right)}{\left(\sum_1^n \sum_1^i t_A\right) + 1} - \sum_1^i t_A$$

$$(3)\quad = \frac{t_M \cdot \sum_1^i t_A}{1 + \sum_1^n \left(\sum_1^i t_A\right)}$$

In einem einfachen Beispiel sei jeweils $\sum_{1}^{i} t_A$ für n=10 Aufträge im Zeitraum von 220 Tagen und t_M=20 Tage:

Auftrag	1	20	Tage	zuzüglich	1,81	Tage	nach (3)
"	2	40	"	"	3,62	"	"
"	3	15	"	"	1,36	"	"
"	4	18	"	"	1,63	"	"
"	5	15	"	"	1,36	"	"
"	6	60	"	"	5,45	"	"
"	7	10	"	"	0,91	"	"
"	8	20	"	"	1,81	"	"
"	9	12	"	"	1,09	"	"
"	10	10	"	"	0,91	"	"
		220	Tage	"	19,95	≈	20 Tage.

Diese neuen Fertigungszeiten $\sum_{1}^{i} t_A + \bar{T}_L$ bilden die Grundlage der Terminplanung für dieses Aggregat. Natürlich kann diese Formel durch das Einführen bedingter Wahrscheinlichkeiten und Sicherheitsgrenzen noch verfeinert werden. Aber hier soll eine Grenze gezogen werden für den noch vertretbaren Rechenaufwand.

Die bisher beschriebene Methode gibt die Zuschläge für Liegezeiten bei der Bearbeitung auf jeweils einem Aggregat an. Die Anwendung dieser Methode für die Errechnung eines durchschnittlichen Werkstattbestandes ist mit einem grossen Rechenaufwand verbunden. Ein einfacheres Verfahren arbeitet mit den Mittelwerten für Liegezeiten, die aus einer beobachteten Verteilungsfunktion gewonnen werden.

Ein Verfahren zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeitsfunktion von Liegezeiten in einer Kostenstelle beschreibt Abschnitt D III. Um die durchschnittliche Kapitalbindung der Werkstattbestände errechnen zu können, müssen noch weitere Daten vorliegen.

Das Postulat der Übereinstimmung der Umsysteme für den betrachteten und für den zukünftigen Zeitraum wurde bereits oben formuliert. Als nächster Schritt muss die Ermittlung der Häufigkeitsverteilung der Arbeitsgänge je Auftrag folgen. Tabelle 6 zeigt eine solche Verteilung, die in diesem Falle einer Poisson-Verteilung gehorcht.

Aus Tabelle 6 wird die Zahl der zu erwartenden Aufträge mit 6 Arbeitsgängen entnommen, aus Tabelle 3 der Mittelwert der Liegezeiten je Arbeitsgang. Mit dem Wert für die unmittelbaren Bereitstellungen und den jeweiligen Zeiten für t_{Aj} kann nun nach der Formel (14) auf Seite 46 der Wert des Auftrages nach der letzten Arbeitsoperation errechnet werden.

Die Rechnung mit einem Wert für jeden Arbeitsgang gibt hierfür ein genaues Ergebnis. Aber bereits bei den Liegezeiten wurde ein aus einer grösseren Stichprobe stammender Mittelwert genommen. Da in der untersuchten Werkstatt die mittleren Liegezeiten gross gegenüber den t_{Aj} sind, ist die Verwendung eines Mittelwertes für t_{Aj} ebenfalls statthaft. Eine Kontrollrechnung wird nur geringe Abweichungen ergeben.

Mit dem Einsetzen eines Mittelwertes für t_{Aj} und t_{lj} lässt sich die Formel

$$(14)\quad K_E = \sum_{k=0}^{n} \mathcal{K}_k \cdot e^{\alpha \sum_{j=k+1}^{n} t_{Aj}} \cdot e^{\alpha \sum_{j=k+1}^{n} t_{lj}}$$

noch vereinfachen: $(t_{Aj} + t_{lj} = \bar{t}\,)$

$$(15)\quad K_E = \sum_{k=0}^{n} \mathcal{K}_k \cdot e^{\alpha \sum_{j=k+1}^{n} \bar{t}} = \sum_{k=0}^{n} \mathcal{K}_k \cdot e^{(n-k)\cdot\alpha\cdot\bar{t}}$$

Tabelle 6

1	2	3	4	5	6
i	n	p	i p	p'	n'
0	11	0,036	0	0,061	19
1	52	0,169	0,169	0,171	53
2	76	0,247	0,494	0,238	73
3	74	0,240	0,720	0,222	69
4	54	0,175	0,700	0,155	48
5	29	0,094	0,470	0,087	27
6	12	0,039	0,234	0,040	12
	308	1,000	2,787		

Aufträge mit der Anzahl der Arbeitsgänge 0 sind innerbetriebliche Reparaturaufträge.

Erwartete Anzahl der Aufträge für die Planperiode

$$n = 3.600.$$

Mit den Wahrscheinlichkeiten der Spalte 3 erhält man für die Aufträge mit

Arbeitsgänge je Auftrag	Anzahl
0	130
1	605
2	890
3	865
4	630
5	340
6	140
	3.600

Empirische und theoretische Häufigkeitsverteilung von Aufträgen mit der Arbeitsgangzahl 0-6.

Aus der Vereinfachung der Formel durch Verwendung eines Mittelwertes für alle t_{Aj} ergibt sich für die Rechnung auch der Wertzuwachs als Konstante für jeden Arbeitsgang.

Beispiel für einen Auftrag mit 6 Arbeitsgängen:

$\overline{t}_{1j} = 6{,}59$ nach Tabelle 3 (normiert)

$\overline{t}_{Aj} = 2{,}41$ Arbeitstage; $t_{Aj} = 6940{,}80$ min.

Wertfaktor = 4,15 DM / Stunde.

$\overline{K}_k = 2{,}41 \cdot 8 \cdot 4{,}15 = 80{,}--$ DM

Wert der unmittelbaren Bereitstellung = 200,-- DM.

$\alpha = 0{,}1 \qquad \frac{\alpha \cdot \overline{t}}{360} = 0{,}0025$

Nach Formel (15) erhält man

$$K_E = K_0 \cdot e^{6 \cdot 0{,}0025} + \sum_{k=1}^{6} K_k \cdot e^{(6-k) \cdot 0{,}0025}$$

$$= 200 \cdot e^{0{,}015} + 80 \cdot \sum_{k=1}^{6} \cdot e^{(6-k) \cdot 0{,}0025}$$

$$= 203{,}02 + 80 \cdot 6{,}0365 = 685{,}94 \text{ DM}$$

als Wert des Auftrages nach Beendigung des letzten Arbeitsganges.

Will man zu einer durchschnittlichen Kapitalbindung aller Aufträge mit sechs Arbeitsgängen für den Planungszeitraum gelangen, muss die Zahl der zu einem Zeitpunkt t sich in der Werkstatt befindlichen Aufträge mit sechs Arbeitsgängen ermittelt werden.

Bezeichnet man den Planungszeitraum mit T und den Mittelwert der Durchlaufzeit eines Auftrages mit $\overline{\tau}$, dann muss

bei n Aufträgen der letzte Auftrag zum Zeitpunkt T- τ beginnen, wenn alle n Aufträge im Planungszeitraum beendet sein sollen. Unterstellt man weiterhin, dass der Arbeitsbeginn aller n Aufträge in der Werkstatt in gleichen Zeitabständen voneinander erfolgt, dann beträgt der Zeitabstand der Aufträge

$$t_s = \frac{T-\tau}{n-1} .$$

Bei Annahme eines Mittelwertes für die Durchlaufzeit ist der Zeitabstand der Ankünfte $t_A=t_s$. Zum Zeitpunkt der Beendigung des ersten Auftrages befinden sich noch y weitere Aufträge in der Bearbeitung. y wird errechnet aus

$$y = (n-1) \cdot \frac{\tau}{T-\tau} .$$

Mit der Zahl für n aus Tabelle 6 erhält man die mittlere Anzahl der sich zu einem Beobachtungszeitpunkt in der Werkstatt befindenden Aufträge.

Ist T=220 und die mittlere Durchlaufzeit für alle Aufträge mit 6 Arbeitsgängen 54 Tage, erhält man für n=140

$$y = (140-1) \frac{\tau}{T-\tau} = 45{,}2 \approx 45 \text{ Aufträge.}$$

Bei Annahme von im Mittel konstanten Werten für t_s und im Mittel konstanten Werten für die Durchlaufzeiten aller Aufträge mit 6 Arbeitsgängen ist die Zahl der in Bearbeitung befindlichen Aufträge in jedem Beobachtungszeitpunkt fast gleich. Nimmt man weiterhin an, dass der Bearbeitungszustand der Arbeitsobjekte arithmetisch ansteigt und der Wertzuwachs annähernd linear erfolgt, dann ist der durchschnittliche Werkstattbestand gleich der Anzahl der im Mittel in der Werkstatt vorhandenen Aufträge multipliziert mit dem halben Wert der Aufträge.

Der vorher ermittelte Wert von DM 685,94 soll der mittlere Wert für alle Aufträge mit 6 Arbeitsgängen sein. Dann errechnet sich der durchschnittliche Werkstattbestand aus

$$\frac{45 \cdot 685{,}94}{2} = 15\,433{,}65 \text{ DM}$$

Das Ergebnis bedeutet, dass während des gesamten Zeitraumes von 220 Arbeitstagen zu jedem beliebigen Beobachtungszeitpunkt für Aufträge mit 6 Arbeitsgängen je Auftrag im Mittel ein Werkstattbestand von 15400,-- DM vorhanden ist.

Diese Rechnung wird nun für alle Aufträge durchgeführt und ergibt für die untersuchte Werkstatt, für die die in Tabelle 6 [1] aufgeführten Aufträge erwartet werden, mit den jeweiligen Mittelwerten für Liegezeiten (zum Beispiel denen aus Tabelle 3-5) einen durchschnittlichen Werkstattbestand.[2]

Diese Rechnung enthält gewisse Vereinfachungen. Die als Mittelwert eingesetzten Werte für t_s gehorchen an sich ebenso einer Wahrscheinlichkeitsfunktion wie die Durchlaufzeiten. Hebt man die Prämisse der Mittelwertbildung nur für diese beiden Grössen auf, gelangt man bereits zu komplizierten Verteilungsfunktionen. Die Zeitpunkte der Beendigung des jeweils letzten Arbeitsganges eines Auftrages hängen dann von der Schwankung der Anfangszeitpunkte und der Verteilung der Durchlaufzeiten eines jeden Auftrages ab. Es liegt damit ein funktionaler Zusammenhang zweier Grössen vor, von denen die eine eine abhängige Variable einer stochastischen Veränderlichen ist. Auch hierfür besteht die Möglichkeit, ein Verteilungsgesetz aufzustellen. Der daraus gebildete Mittelwert für die in der Werkstatt befindlichen Aufträge kann mit den in

---

1) Seite 143

2) Unter den getroffenen Voraussetzungen ist der durchschnittliche Werkstattbestand gleichzeitig auch der optimale. Vgl. dazu auch S. 18.

der Tabelle 6 errechneten Wahrscheinlichkeitswerten nach der Zahl der Aufträge mit 1 bis 6 Arbeitsgängen differenziert werden und ist noch um bestimmte Sicherheitsgrenzen erweiterungsfähig.

Mit einem entsprechenden Rechenaufwand ist es möglich, exakte Werte für die Höhe der Werkstattbestände zu ermitteln. Will man jedoch den Aufwand auf ein wirtschaftlich vertretbares Mass beschränken, dann müssen gewisse Vereinfachungen zugelassen werden. Wie weit vereinfacht werden soll, kann nur im konkreten Einzelfall entschieden werden. Im allgemeinen ist es zweckmässig, bei der empirischen Beobachtung und rechnerischen Ermittlung von Verteilungsfunktionen für Liegezeiten sehr genau vorzugehen, weil hieraus die Ausgangsdaten für alle weiteren Rechnungen gewonnen werden.

Für das Weiterrechnen zur Ermittlung durchschnittlicher Werkstattbestände sind dann Vereinfachungen zulässig. Eine Begründung dafür liegt schon darin, dass die Werkstattbestände trotz der Konstanz aller relevanten Einflussfaktoren bei kurzen Beobachtungszeiträumen um einen Mittelwert schwanken[1]. Verlängert man die Beobachtungszeiträume auf buchhalterisch vertretbare Intervalle, wird es nicht möglich sein, für eine bestimmte Schwankungsbreite eine Aussage darüber zu treffen, ob die Abweichung vom vorherigen Wert eine zufällige Grösse ist oder bereits Ausdruck einer gestörten Ablauforganisation. Hier wird es nur möglich sein, mehrere Beobachtungswerte zu sammeln und diese dann einem Signifikanz-Test[2] zu unterziehen. Aus der Stichprobe mit dem Umfang n werden die statistischen Masszahlen $\bar{x}$ und s^2 berechnet und die

---

1) Zur Häufigkeitsverteilung von Inventurwerten vgl. Roth/Bujack =Werkstattbestände=
2) Vgl. dazu Pfanzagl =Methodenlehre= 84 - 88.

Testgrösse $z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma} \cdot \sqrt{n}$ gebildet.[1] Für die Prüfung der statistischen Hypothese $H_0: \bar{\mu} = \mu_0$ (μ_0 = Mittelwert des errechneten Werkstattbestandes) wird nach Wahl einer Irrtumswahrscheinlichkeit α die Grösse z getestet.[2] Gilt $|z| \geq z_\alpha$, wird H_0 abgelehnt, für $|z| < z_\alpha$ widerspricht der Stichprobenwert nicht der Hypothese, die Abweichung kann als zufällig angesehen werden.[3]

Es bleibt unbestritten, dass die dargestellte Methode Fehlermöglichkeiten enthält. Sie liegen vor allen Dingen in der Schwierigkeit, das jeweilige und zutreffende Verteilungsgesetz aufzustellen. Je umfangreicher und zahlreicher aber die heranzuziehenden Datenreihen sind, umso vielfältiger werden dann auch die Fehlermöglichkeiten[4] und damit die Unsicherheit der Ergebnisse.

---

1) Die Grundgesamtheit solcher Schwankungen ohne Einfluss von Störungen kann als normalverteilt angesehen werden.
2) Bei zweiseitiger Fragestellung.
3) Für kleine n kann man zur Prüfung der Hypothese die Testgrösse $\hat{t} = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s} \cdot \sqrt{n}$ bilden und mit tabellierten Werten der Student-Verteilung vergleichen.
4) Vgl. dazu auch Morgenstern =Genauigkeit= insbesondere 104 ff und 118 ff.

E Zusammenfassung und Schluss

Eine Reihe von Unternehmungen, die dem vor einigen Jahren entstandenen Slogan "Elektronische Datenverarbeitung für jede Unternehmung" erlegen sind, stellen heute mit Ernüchterung fest, dass eine Rechenanlage weder alle Probleme lösen kann noch in jedem Falle ein kostensparendes Instrumentarium ist.

Zu den Problemkreisen, in denen ein Rechner nur im begrenzten Umfang einsetzbar ist, gehört die Strukturierung von Ablaufprozessen in der Einzel- und Serienfertigung.

Für den Fall einer beschränkten Einsatzfähigkeit eines Rechners müssen noch weitgehend manuelle Methoden zur Optimierung der Prozeßstruktur angewendet werden. Aber auch dafür fehlt es an einem Kriterium, das die Unternehmensleitung in die Lage versetzt, die Wirkung einer für Ablaufprobleme getroffenen Entscheidung oder den Erfolg einer Massnahme der Fertigungssteuerung unmittelbar an den Veränderungen einer ökonomischen Ergiebigkeit zu messen.

Dieses Kriterium sieht der Verfasser in einer Abart der organisatorischen Bestände, den Werkstattbeständen. Dieses Kriterium findet seine Kennzeichnung im Wert der unvollendeten Produktion einer Werkstatt. Die Auswahl dieses Kriteriums erfolgt gemäss den Prinzipien für das Formalziel einer Unternehmung: optimale Wirtschaftlichkeit aller Leistungsvorgänge bei ständiger Liquidität der Unternehmung.[1)]

---

1) Vgl. dazu Kosiol =Sinn und Wesen= 1.

Werkstattbestände als "Summe der bewerteten Mengen aller Objektarten einer Werkstatt unter Einschluss der unmittelbaren Bereitstellungen" stehen in enger Wechselbeziehung zu den Leistungsprozessen in einer Werkstatt. Soweit es sich um Bestände in einer Fliess- oder Taktfertigung handelt, sind diese mit einfachen Methoden berechenbar. Tritt aber in einer Werkstatt mit Einzel- und Serienfertigung die Interdependenz der Leistungsvorgänge hinzu und werden diese noch vom dynamischen Tagesgeschehen beeinflusst, wird die Bestimmung und Berechnung von Werkstattbeständen komplizierter.

Infolge der engen Bindung der Werkstattbestände an das Formalziel der Unternehmung bot sich eine Erweiterung des Anwendungsbereiches der Massgrösse Werkstattbestand an: unter bestimmten Voraussetzungen sollte mit diesem Wert ein Messwert für die Güte einer Werkstattorganisation, ihrem Organisationsgrad, gefunden werden.

Die Verwendung der Werkstattbestände zur Kennzeichnung eines Organisationsgrades geht von der Vorstellung aus, dass sich die Organisation einer Werkstatt durch die Strukturierung ihrer Ablaufprozesse zwangsläufig in der Höhe der jeweiligen Werkstattbestände niederschlägt. Je mangelhafter die einzelnen Leistungsvorgänge in einer Werkstatt aufeinander abgestimmt sind, um so höher wird der durch Regellosigkeiten verursachte Werkstattbestand.

Für eine bestimmte Werkstatt mit Einzel- und Serienfertigung, deren hohe Zahl von zu berücksichtigenden Reihenfolgekombinationen mit Hilfe eines Rechners nicht mehr zu bewältigen ist, wird es notwendig, zur Bestimmung des Organisationsgrades einen definierten Organisationszustand als optimal festzulegen.

Eine solche Festlegung ist natürlich nur mit einem Massstab möglich, der die Aufstellung einer normierten Werteskala zulässt. Während für Werkstätten mit Fliessfertigung ein solcher Maßstab durch strenge Bindung an die Taktreihe geschaffen werden kann, müssen für Werkstätten mit Einzel- und Serienfertigung Einflussgrössen auf den Prozessablauf normiert werden. Diese als originäre und abgeleitete Einflussfaktoren bezeichneten Einwirkungselemente bestimmen, falls festgelegte Bedingungen erfüllt werden, als normierte Einflussfaktoren einen normierten Werkstattbestand. Normiert heisst hierbei: unter den gegebenen Bedingungen und Einflüssen nicht mehr verbesserungsfähig, also optimal.

Der Kern dieses Optimalproblems wird von einer abgeleiteten Einflussgrösse geformt: den Liegezeiten der Arbeitsobjekte. In den Liegezeiten zeigt sich die Qualität einer Werkstattorganisation. Jede Abweichung von der Norm der festgelegten originären Einflussfaktoren oder der festgelegten Bearbeitungsreihenfolge schlägt sich in den Liegezeiten der Arbeitsobjekte nieder mit einer Rückwirkung wiederum auf diese Einflussfaktoren. Von den Liegezeiten werden letztlich auch die Werkstattbestände bestimmt.

Mit den Liegezeiten als mitbestimmendes Moment für die Höhe von Werkstattbeständen ist ein Faktor aufgedeckt worden, der besonders in Werkstätten mit Einzel- und Serienfertigung besonderen Beurteilungsmaßstäben unterliegt.

Liegezeiten von Arbeitsobjekten, soweit sie nicht technologisch bestimmt sind, werden durch Störungen des strukturierten Arbeitsprozesses verursacht. Die Ursachen dieser Störungen haben eine völlig heterogene Natur, ihr Einfluss auf den Leistungsprozess unterliegt starken Schwankungen. Das Auftreten der Störungen ist rein zu-

fällig. Dadurch sind die Liegezeiten ebenfalls starken Schwankungen unterworfen. Durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung wird es möglich, diese Schwankungen zu erfassen, sie durch eine Verteilungsfunktion zu strukturieren und mit Hilfe der statistischen Mathematik zu überprüfen und einzugrenzen. Die wahrscheinlichkeitstheoretischen Voraussetzungen und Axiome bestimmen das Ausmass der Anwendbarkeit der ermittelten Wahrscheinlichkeitswerte auf zukünftige Ereignisse.

Die Frage nach der Zuverlässigkeit der Verwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung für das in der Arbeit behandelte Gebiet und darüber hinaus für die Anwendung im Unternehmensbereich schlechthin kann nur einschränkend beantwortet werden:
Bisher ist das Gebiet der Wahrscheinlichkeitsrechnung eine Domäne der Statistiker und Mathematiker gewesen. Die Handhabung der zum Teil schwierigen Formeln, die Berechnung der höheren Momente der Verteilungsgesetze, die verschiedenen Grenzwertsätze, die Behandlung von Kombinationen von Wahrscheinlichkeitsfunktionen bis zur Berechnung stochastischer Ketten erfordern ein umfangreiches mathematisches Rüstzeug. Eine weitere Schwierigkeit liegt in der Uneinheitlichkeit der Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsmathematik selber , die bis zu einem gewissen Grade auf die Verschiedenheit der theoretischen Standpunkte zurückzuführen ist. Unter diesen Aspekten bleibt die praktische Nutzung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf einen kleinen Kreis von Spezialisten beschränkt, denen die notwendigen datenverarbeitenden Anlagen und die entsprechenden mathematischen Kenntnisse zur Verfügung stehen.

Hinzu kommt, dass für die Ermittlung und Aufstellung statistischer Zahlen aus dem Tranformationsprozess oder den übrigen Bereichen der Unternehmung längere Zeiträume beobachtet werden müssen, damit genügend grosse Stichprobenwerte für die Rechnung vorliegen. Die in der Technik mögliche Wiederholbarkeit ein- und desselben Vorganges unter exakt gleichen Bedingungen ist für die dynamisch sich verändernden und oft den unternehmerischen Entscheidungen sich anpassenden mengenwirtschaftlichen Ablaufprozesse nicht möglich.[1] Eine Simulation bestimmter Vorkommnisse wird immer unter Modellbedingungen erfolgen müssen, das heisst unter Ausschaltung gewisser Nebenbedingungen und Fixierung des Datenkranzes.[2]

Damit bleibt das Hauptanwendungsgebiet der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Wahrscheinlichkeitstheorie der Bereich, an dem sich die Technik mit wirtschaftlichen Handlungsmaximen paart: der Transformationsprozess in der Unternehmung. Hier kann die Wahrscheinlichkeitsrechnung nutzbringend als Hilfsmittel für die strukturierenden Regelungen[3] zum Erreichen einer möglichst grossen Mengenwirtschaftlichkeit eingesetzt werden.

Die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung schliesst allerdings eine Auseinandersetzung mit dem Wahrscheinlichkeitsbegriff und der Wahrscheinlichkeitstheorie ein. Die Beschränkung des Wahrscheinlichkeitsbegriffes auf die mathematische Kategorie bei einem die Axiome bestimmenden Umsystem lässt eine rechnerische Verwendung der für verschiedene Einflussgrössen gefundenen Verteilungsgesetze und Wahrscheinlichkeitsfunktionen durchaus zu. Werden jedoch für künftige Ereignisse Wahrscheinlichkeitswerte ver-

---

1) Vgl. dazu Anderson =Probleme= 231.
2) Vgl. dazu Kosiol =Modellanalyse= 320.
3) Vgl. dazu Kosiol =Organisation= 25.

wendet, die aus dem Rahmen einer rein mathematischen Bestätigung herausfallen und die Entscheidungskriterien unterworfen sind, muss in Ermangelung einer allgemein verbindlichen Wahrscheinlichkeitstheorie als Bestimmungsmaxime des Wahrscheinlichkeitssystems der Grad der Übereinstimmung des für die beobachtete Stichprobe geltenden Umsystems mit dem für die zukünftige Stichprobe geltenden Umsystem angegeben werden.

Diese Formulierung leitet zu wissenschaftstheoretischen Problemen über:

> "Bei jeder Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf ein konkretes Problem ist - wie in jeder naturwissenschaftlichen Theorie - ein zweimaliger Übergang zwischen Theorie und Wirklichkeit zu vollziehen." [1)]

Das heisst, dass am Anfang einer Theorie die Erkenntnis der Zusammenhänge durch deskriptive Erfassung der Wahrnehmungen und Messungen steht. Auf die Ebene der begrifflich-theoretischen Darstellung gehoben, müssen diese theoretischen Konstruktionen durch die Erfahrung bestätigt werden. Fehlt diese Bestätigung oder ist sie unzureichend, muss mit dem Erkenntnisprozess neu begonnen werden.

Ohne sich auf eine bestimmte erkenntnistheoretische Richtung festlegen zu wollen, müss dieser Prozess für die Begriffsbildung und Beweisführung der Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Unternehmung vorausgehen. Für die Anwendung und Gültigkeit der Wahrscheinlichkeit auf die speziellen Probleme des Transformationsprozesses wird die Gültigkeit der wahrscheinlichkeitstheoretischen Axiome mit der Forderung nach Festlegung und Beschreibung des sie konstituierenden Umsystems gekoppelt.

---

1) von Mises =Wahrscheinlichkeit= 68.

Damit ist für einen endlichen und überschaubaren Bereich eine zwar noch mit Wahrscheinlichkeiten behaftete, aber dennoch gut brauchbare Plattform für die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung gegeben.

Ob nun die einzelne Meinung mehr zu der Ansicht Ludwig von Mises[1] neigt:

> "Es ist müssig, dicke Bände über die optimale Lagerhaltung zu schreiben. Die Entscheidung darüber hängt von den Plänen der Unternehmer ab. Alle Entscheidungen rechnen mit einer bestimmten Gestaltung künftiger Verhältnisse, über die nichts Sicheres bekannt ist."

oder mehr zu der Ansicht von Laplace:[2]

> "Man ersieht ...., dass die Wahrscheinlichkeitstheorie nur der der Berechnung unterworfene gesunde Menschenverstand ist; sie lehrt das mit Genauigkeit abschätzen, was ein gerader Verstand mit einer Art Instinkt fühlt....."

bleibt es unbestritten, dass die Wahrscheinlichkeitsrechnung in die strukturierenden Regelungen zur Erfüllung des ökonomischen Prinzips mit aufgenommen worden ist.

---

1) von Mises, L. =Bemerkungen= 664.
2) Laplace =Wahrscheinlichkeit= 170, 171.

F. Anhang

I. Zur Theorie von R. Carnap

Gelegentlich wird in der Literatur die von Carnap angegebene Formel für den Induktionsschluss auf Sachverhalte in der Unternehmung angewendet. So wird z.B. von Angermann diese Formel für einen Voraussageschluss über den Ausfall von Maschinen verwendet. [1] Abgesehen davon, dass die von Angermann errechneten Strukturwahrscheinlichkeiten einen Sonderfall darstellen [2], ist die Anwendung einer Wahrscheinlichkeits-Aussage für dieses Beispiel umstritten.

Das Grundproblem des induktiven Schließens liegt in dem Grad der Bestätigung, mit der ein theoretischer Satz oder eine Satzklasse durch einen empirischen Satz gestützt oder mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit gerechtfertigt wird. Die induktive Logik gibt nunmehr die formalen Bedingungen an, unter denen ein Bestätigungsgrad festzulegen ist, während mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung die Werte dafür empirisch zu ermitteln sind. Auf diese Weise wird eine Hypothese h aufgrund der Erfahrungsdaten e quantitativ durch einen Wert zwischen 0 und 1 bestätigt, wobei der Grad der Bestätigung dieser Hypothese um so grösser ist, je mehr sich die Zahl dem Wert 1 nähert.

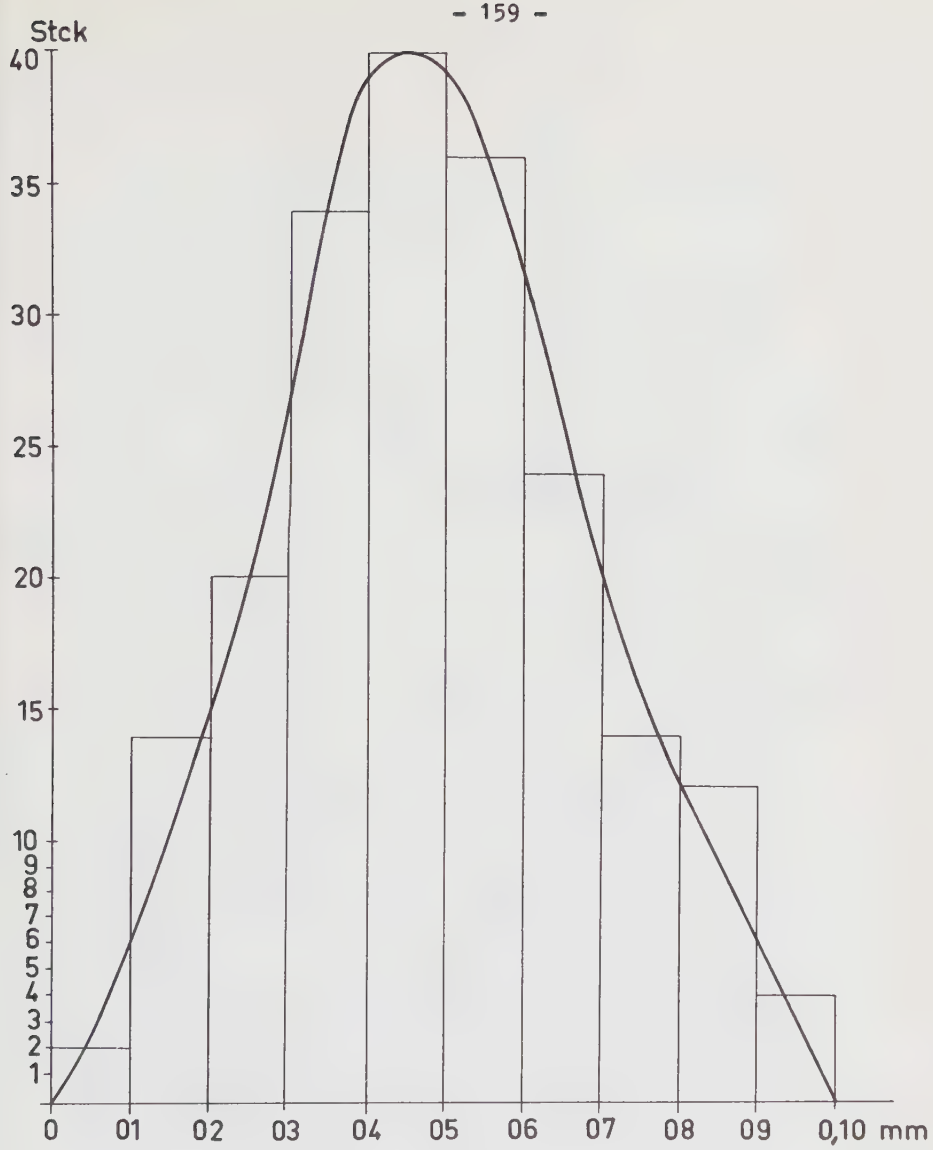
---

1) Angermann =Entscheidungsmodelle= 24 ff.
2) Die von Angermann angegebenen Strukturwahrscheinlichkeiten stellen einen Sonderfall für die Aussage Ausfall oder Nichtausfall der Maschine dar. Erweitert man die Aussage Ausfall dahingehend, dass einmaliger Ausfall gleichbedeutend mit reparaturfähig und zweiter Ausfall mit nicht mehr einsatzfähig ist ($r = 0 \vee 1 \vee 2$), dann nehmen die Strukturwahrscheinlichkeiten andere Werte an und damit auch alle Folgerechnungen.

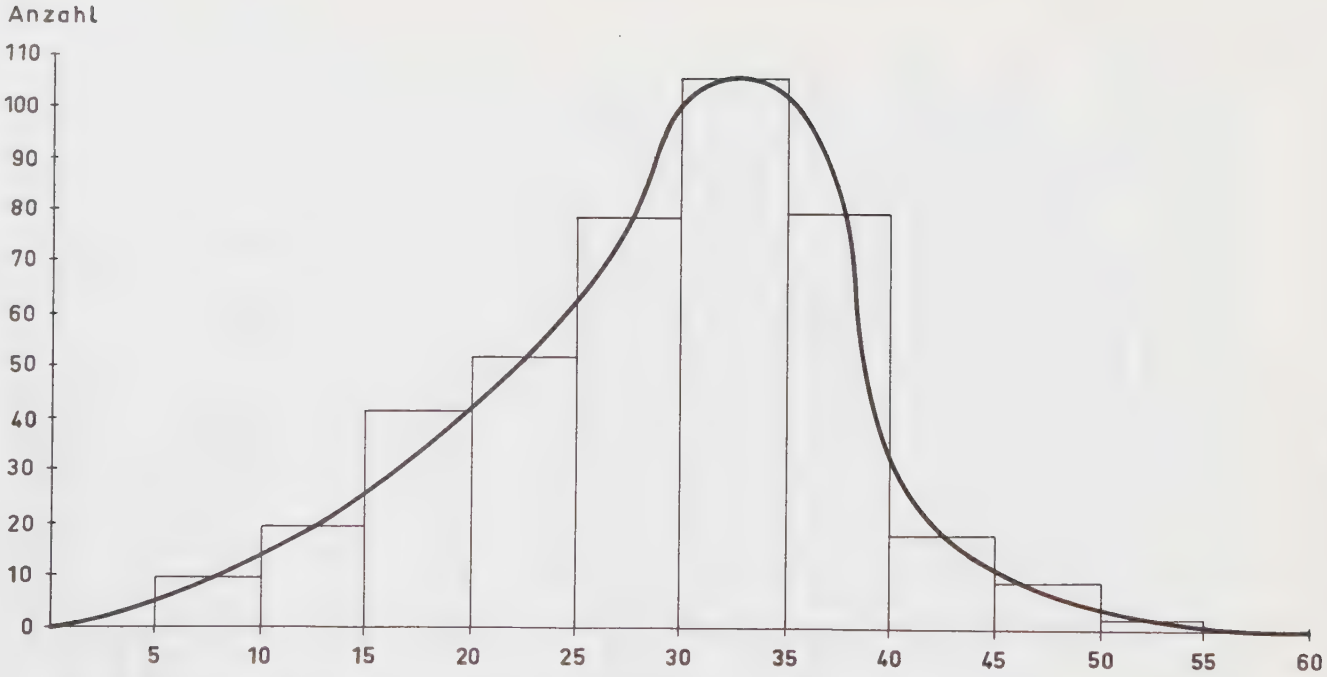
Der Begriff des Bestätigungsgrades wird bei Carnap semantisch interpretiert als Funktion c von zwei Argumenten [1] unter Bezugnahme auf ein bestimmtes Sprachsystem $\mathfrak{L}$. Diese Argumente sind Sätze oder Satzklassen einer Objektsprache in metasprachlicher Bezeichnung. In der Hypothese h sind die Annahmen über die erwarteten und nicht hinreichenden bekannten Tatsachen enthalten, während e als Prämisse alles verfügbare Erfahrungswissen beinhaltet. Das führt dann zu einem Begriff des Bestätigungsgrades der Form c (h, e) = r, was bedeutet: die Wahrscheinlichkeit von h in Bezug auf die Prämisse e ist im Sprachsystem $\mathfrak{L}$ gleich r. Dieses ist der Ausgangspunkt für den Aufbau der quantitativen, induktiven Logik und führt dann zu einem der wichtigen induktiven Wahrscheinlichkeitsschlüsse, dem Voraussageschluß. Hierbei handelt es sich um den Schluß von einer beobachteten Stichprobe auf eine nicht beobachtete, unbekannte Stichprobe, wobei sich beide Bereiche nicht überschneiden sollen. Die hierfür von Carnap angegebene Formel [2] wird auch von Angermann verwendet. [3]

---

1) Carnap/Stegmüller =Induktive Wahrscheinlichkeit= 149 ff.
2) Carnap/Stegmüller =Induktive Logik= 226
3) Zum praktischen Nutzen der induktiven Logik vgl. Carnap/Stegmüller =Induktive Logik= 100 ff.



Mittenversatz an der Achse **2602-....**
Maschine: Revolver-Handbank mit
Spannzange

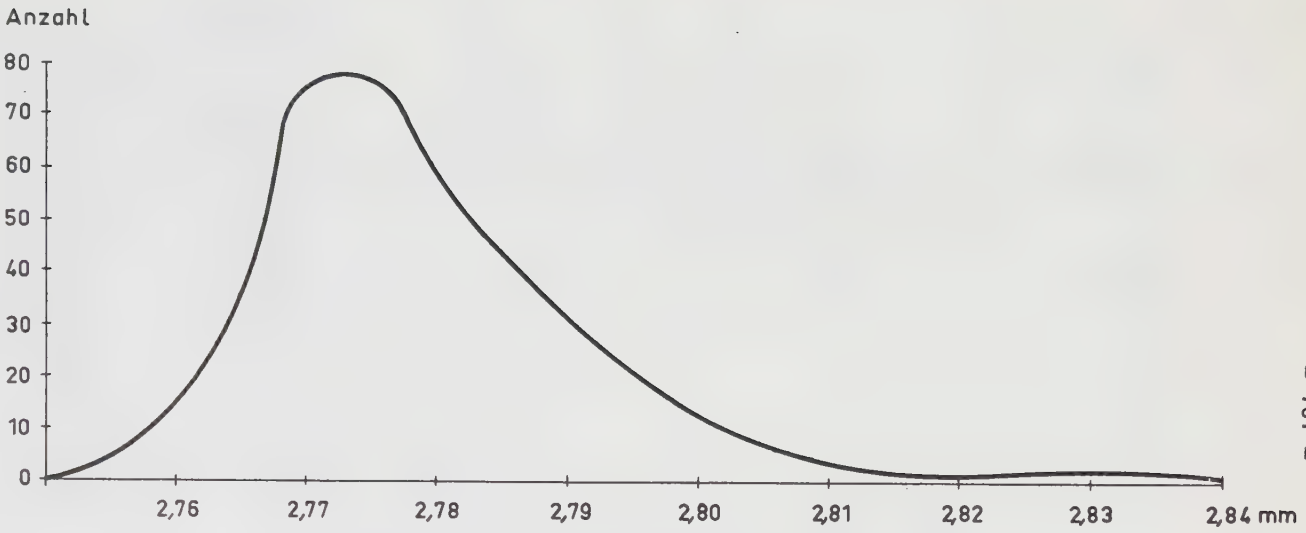


Häufigkeitsverteilung eines Winkelmaßes an Relaiskernen Soll = 90° + 25'

Arbeitsgang: Nachschlagen

Maschine: 110 t Schlagspindelpresse

Werkzeug: Einfach-Einlegevorrichtung

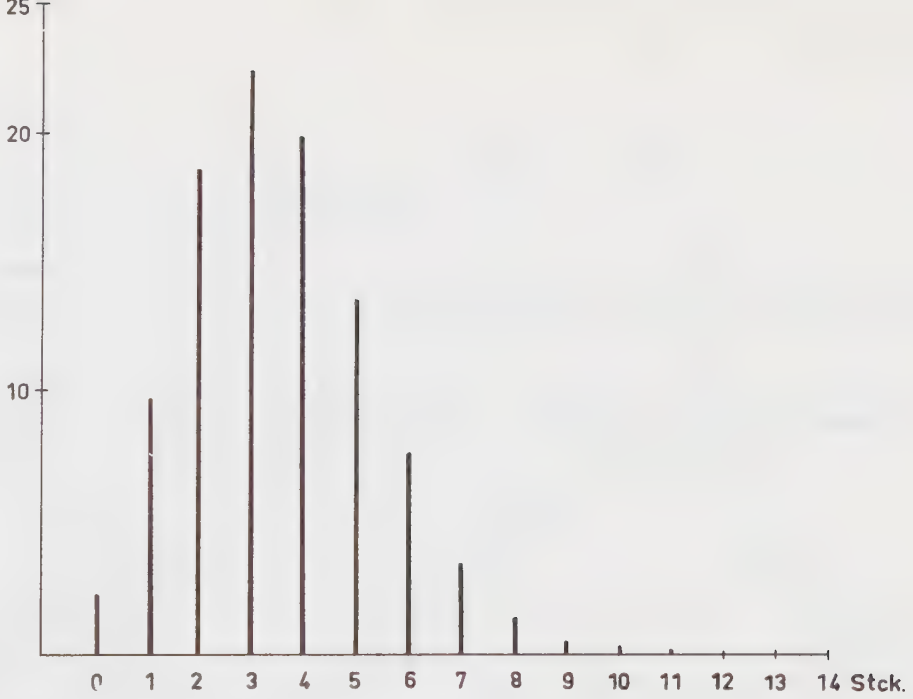


Häufigkeitsverteilung der Messungen für das Kontrollmaß 2,8 ± 0,03 an einem Polschuh.

Arbeitsgang: Stanzen

Maschine: 36 t Exenterpresse

Werkzeug: Zweifach-Einlegevorrichtung



Wahrscheinlichkeit für die zu erwartende Anzahl von Glockenschalen mit einem Kupferüberzug von > 5 μ

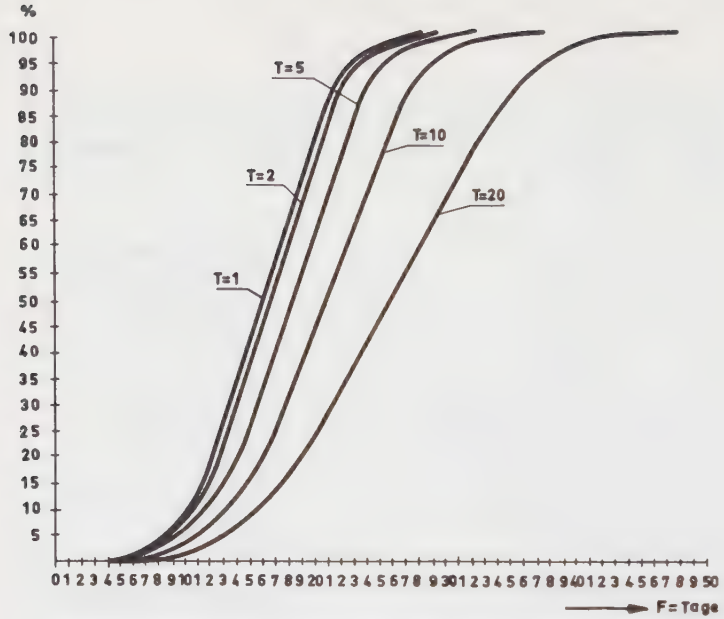
Arbeitsgang:	Verkupfern
Maschine:	automatische Galvanik
Staffelgröße:	35 Stück
p im Durchschnitt:	0, 1

Ausfallarten von Aggregaten oder Elementen und die hierfür gültigen Verteilungsgesetze, soweit diese durch Erfahrungen bestätigt werden[1].

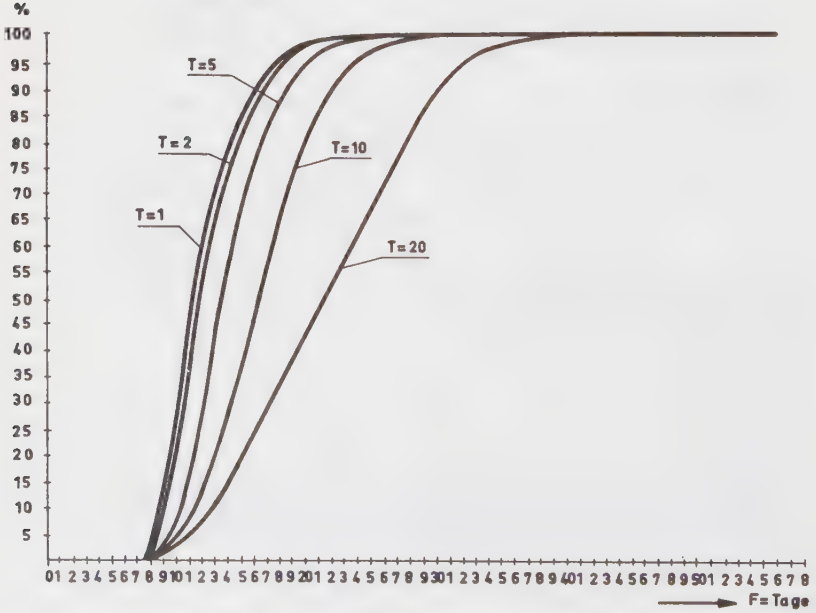
Ausfallart	Verteilungsgesetz
Frühausfälle	Weibull-Verteilung mit $0 < a < 1$
Unbestimmte Ausfälle mit nahezu konstanter Ausfallrate	Exponential-verteilung
Unbestimmte Ausfälle bei Erholungsfähigkeit	Gamma-Verteilung mit $p > 1$
Altersausfälle mit Erholungsfähigkeit	Weibull-Verteilung mit $1 < a < 2$ Gamma-Verteilung mit $0 < p < 1$
Altersausfälle	Weibull-Verteilung mit $a \geq 2$ Logarithmische Normalverteilung
Dauerbeanspruchungsausfälle von Bauelementen mit hoher Lebensdauer	Poisson-Verteilung

---

[1] Quellen:
Veröffentlichungen in Zeitschriften der statistischen Qualitätskontrolle, (unveröffentlichte) Berichte der NTG-Tagungen, Military Standardization Handbook und andere mehr.



Verteilungsfunktion für Liegezeiten von Relaisschienen in der Montage bei unterschiedlicher Fertigungsdauer T



Verteilungsfunktion für Liegezeiten von Vermittlungsgestellen in der Montage bei unterschiedlicher Fertigungsdauer T

Literaturverzeichnis

I. Selbständige Bücher und Schriften

Adam, Adolf:
Messen und Regeln in der Betriebswirtschaft.- Würzburg 1959.

Anderson, Oskar:
=Probleme= Probleme der statistischen Methodenlehre in den Sozialwissenschaften. 3. Aufl. Würzburg 1957.

Andler, Karl:
=Losgrösse= Rationalisierung der Fabrikation und optimale Losgrösse. Diss. Stuttgart 1929.

Angermann, Adolf:
=Entscheidungsmodelle= Entscheidungsmodelle. Frankfurt/Main 1963.

Antoine, Herbert:
Kennzahlen. Richtzahlen, Planungszahlen. Wiesbaden 1956.

Autorenkollektiv:
Mathematik und Rechentechnik bei der Planung. Übersetzung aus dem Russischen. Berlin 1964

Autorenkollektiv:
Organisatorische Grundlagen der Gruppenbearbeitung.- Berlin 1963.

Autorenkollektiv:
Zur Berechnung der Umschlagsgeschwindigkeit in der Sowjetwirtschaft. Übersetzung aus dem Russischen. Berlin 1952.

Barlow, Richard und Proschan, Frank:
=Reliability= Mathematical Theory of Reliability. New York, London, Sydney 1965.

Bernoulli, Jakob:
=Ars conjectandi= Ars conjectandi.- Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 108. Leipzig 1899.

Böhrs, Hermann:
Die Organisation des Industriebetriebes.- Wiesbaden 1963.

Borel, Émile als Herausgeber
Traité du Calcul des Probabilités et de ses Appliciations. Paris 1952.

Bourbaki, Nicolaus:
=Éléments= Éléments de Mathématique. 3. Ausg. Paris 1961.

Brockhaus-Lexikon, 14. Aufl. Leipzig 1895.

Brown, Robert G.:
Statistical Forecasting for Inventory control. New York 1959.

Brücker-Steinkuhl:
Anwendung mathematisch-statistischer Verfahren in der Industrie.- Forschungsbericht Nr. 288 des Landes Nordrhein-Westfalen. Köln und Opladen 1956.

Burington, Richard and May, Donald:
Handbook of Probability and Statistics with Tables. Sandusky/Ohio 1953.

Cantor, Moritz:
Geschichte der Mathematik. 3. Aufl. Leipzig 1907.

Carnap, Rudolf:
=Einführung= Einführung in die symbolische Logik. 2. Aufl. Wien 1959.

=Induktive Logik= Induktive Logik und Wahrscheinlichkeit. Bearb. von Wolfgang Stegmüller. Wien 1959.

=Logical Foundations= Logical Foundations of probability.- Chicago 1950.

=The continuum= The continuum of inductive methods.- Chicago 1952.

Carter, O.E.; Meredith, G.P. und Shackle, G.L.S. als Herausgeber
Uncertainty and Business Decisions. Liverpool University Press 1957.

Chernoff, Hermann und Moses, Lincoln F.:
Elementary Decision Theory.- New York 1959.

Chorafas, Dimitris N.:
Statistical Processes and Reliability Engineering.- Princetown 1960.

Clar, Peter:
=Kapazitätsnutzung= Die Kapazitätsnutzung in der Industrieunternehmung.- Berlin 1964.

Cramér, Harald:
=Wahrscheinlichkeit= Aus der neueren mathematischen Wahrscheinlichkeitslehre. Heft 76a der A.G. für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen. Köln und Opladen 1959.

Daeves, Karl:
=Grosszahlforschung= Praktische Grosszahlforschung. Berlin 1933

Daeves, Karl und Beckel, August:
=Grosszahlmethodik= Grosszahlmethodik und Häufigkeitsanalyse.- Weinheim 1958.

Daeves, Karl:
Vorausbestimmungen im Wirtschaftsleben.- Essen 1951.

Davies, Owen L.:
The Design and Analysis of Industriel Experiments. Edinburgh - London 1954.

Eisler, Rudolf:
Wörterbuch der philosophischen Begriffe. 4. Aufl. Berlin 1930.

Ellinger, Theodor:
=Ablaufplanung= Ablaufplanung.- Stuttgart 1959.

Erisman, Theodor:
=Wahrscheinlichkeit= Wahrscheinlichkeit im Sein und Denken. Wien 1954.

Fenzlau, Gerhard:
Technisch-wirtschaftliche Kennziffern in der Mechanisierung und Automatisierung von Produktionsprozessen.- Berlin 1963.

Ferschl, G.:
=Wirtschaftsprozesse= Zufallsabhängige Wirtschaftsprozesse.- Wien - Würzburg 1964.

Fisz, Marek:
=Wahrscheinlichkeitsrechnung= Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik. Berlin 1958.

Fraenkel, Abraham:
Mengenlehre und Logik.- Berlin 1959.

Gälweiler, Alois:
Produktionskosten und Produktionsgeschwindigkeit.- Wiesbaden 1960.

Gebelein, Heinz und Heite, H.J.:
=Urteilsbildung= Statistische Urteilsbildung.- Berlin - Göttingen - Heidelberg 1951.

Gebhardt-Seele, Peter:
Rechenmodelle für wirtschaftliches Lagern und Einkaufen.- München 1962.

Gnedenko, Boris:
=Wahrscheinlichkeitsrechnung= Lehrbuch der Wahrscheinlichkeitsrechnung.- Berlin 1962.

Gnedenko, Boris und Chintchin, A.J.:
Elementare Einführung in die Wahrscheinlichkeitsrechnung.- Berlin 1955.

Göldner, Jürgen:
=Aufbauorganisation= Aufbauorganisation der industriellen Lagerwirtschaft.- Berlin 1960.

=Ablauforganisation= Ablauforganisation der industriellen Lagerwirtschaft.- Berlin 1964.

Gutenberg, Erich:
=Grundlagen= Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. 5. Aufl. Band I. Berlin - Göttingen - Heidelberg 1960.

=Unternehmensführung= Unternehmensführung.- Wiesbaden 1962.

Graf, Ulrich und Henning, Hans-Joachim:
=Statistische Methoden= Statistische Methoden bei textilen Untersuchungen. 3. Neudruck. Berlin - Göttingen - Heidelberg 1960.

Gräfgen, Gérard:
Theorie der wirtschaftlichen Entscheidungen.- Tübingen 1963.

Grochla, Erwin:
=Materialwirtschaft= Materialwirtschaft.- Wiesbaden 1958.

Hald, A.:
=Statistical Theory= Statistical Theory with Engineering Applications. 4. Aufl. New York 1960.

Handbuch des Industrial Engineering, Bd. I-VI. Berlin - Köln - Frankfurt 1956.

Hauland, Robert:
Engineering Reliability and Long Life Design.- Princetown, N.Y. 1964.

Heinen, Edmund:
=Kostenlehre= Betriebswirtschaftliche Kostenlehre, Bd. I. 2. Aufl. Wiesbaden 1965.

Hennig, Karl Wilhelm:
Betriebswirtschaftslehre der industriellen Fertigung. 2. Aufl. Braunschweig 1948.

Hoffmeister, Johannes als Herausgeber
Wörterbuch der philosophischen Begriffe.- Hamburg 1955.

Hogben, Lancelot:
Zahl und Zufall.- München 1956.

Holt, Charles C.; Modigliani, Franco; Muth, John F.; Simon, Herbert A.:
=Planning Production= Planning Production, Inventories and Work Force.- Englewood Cliffs, N.J. 1963.

Hoss, Klaus:
=Fertigungsablaufplanung= Fertigungsablaufplanung mittels operationsanalytischer Methoden.- Würzburg - Wien 1965.

Hristow, W.K.:
Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematischer Statistik und Methoden der kleinsten Quadrate,- Berlin 1961.

=Hütte= Taschenbuch für Betriebsingenieure. Bd. II. Betrieb.- 4. Aufl. Berlin 1954.

Jahnke-Emde:
Tafeln höherer Funktionen. Bearb. von Fritz Emde. 4. Aufl. Leipzig 1948.

Jaglom, A.M.:
Einführung in die Theorie der stationären Zufallsfunktionen. Übersetzung aus dem Russischen. Berlin 1959.

Jaglom, A.M. und Jaglom, I.M.:
=Wahrscheinlichkeit= Wahrscheinlichkeit und Information. Übersetzung aus dem Russischen. Berlin 1960.

Kalveram, Wilhelm:
=Industriebetriebslehre= Industriebetriebslehre. 7. Aufl. Wiesbaden 1960.

Kant, Immanuel:
Kritik der reinen Vernunft. 3. Aufl. Berlin 1872.

Kern, Werner:
=Messung= Die Messung industrieller Fertigungskapazitäten und ihre Ausnutzung.- Köln und Opladen 1962.

Keynes, John Maynard:
=Wahrscheinlichkeit= Über Wahrscheinlichkeit. Übersetzung aus dem Englischen. Leipzig 1926.

Kilian, Rolf und Matthies, Willi:
=Mathematische Methoden= Mathematische Methoden in Organisation und Planung. 2. Aufl. Berlin 1965.

Klerk-Grobben, Gerda:
De Gamma-verdeling. Rapport S 250 des Mathematischen Centrum Amsterdam 1959.

v. Kortzfleisch, Gert:
Betriebswirtschaftliche Arbeitsvorbereitung.- Berlin 1962.

Kosiol, Erich:
=Bilanzreform= Bilanzreform und Einheitsbilanz. 2. Aufl. Berlin - Stuttgart 1949.

=Finanzmathematik= Finanzmathematik. 7. Aufl. Wiesbaden 1956.

=Kostenrechnung= Kostenrechnung.- Wiesbaden 1964.

=Organisation= Organisation der Unternehmung.- Wiesbaden 1962.

=Unternehmung= Die Unternehmung als wirtschaftliches Aktionszentrum. Rowohlts deutsche Enzyklopädie Bd. 256/257. Hamburg 1966.

=Warenkalkulation= Warenkalkulation in Handel und Industrie.- Stuttgart 1953.

Krekó, Béla:
=Lehrbuch= Lehrbuch der linearen Optimierung.- Berlin 1964.

Krickeberg, Klaus:
=Wahrscheinlichkeitstheorie= Wahrscheinlichkeitstheorie. Stuttgart 1963.

Kromphardt, Wilhelm; Henn, Rudolf; Förstner, Karl:
=Entscheidungsmodelle= Lineare Entscheidungsmodelle. Berlin - Göttingen - Heidelberg 1962.

Lahde, Helmut:
Handbuch moderner Lagerorganisation und Lagertechnik. München 1962.

Laplace, P.S. de:
=Wahrscheinlichkeit= Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit.- Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften. Leipzig 1932.

=Théorie analytique= Théorie analytique des probabilités. Paris 1872.

Latscha, Robert:
Das Chiquadrat-Prüfverfahren. Diss. Bern 1949.

Lehmann, Gunther:
=Arbeitsphysiologie= Praktische Arbeitsphysiologie. 2. Aufl. Stuttgart 1962.

Lemân, Maximilian:
=Bereitstellung= Steuernde Bereitstellung als organisatorische Zwischenlösung. Diplom-Arbeit, Berlin 1962.

Lindgren, B.W.:
=Statistical Theory- Statistical Theory. 3. Aufl. New York - London 1965.

Lorenz, Paul:
Anschauungsunterricht in mathematischer Statistik. Bd. III - Vom Menschen - Leipzig 1961.

Mentha, Gérald:
Statistische Fabrikationsüberwachung in der Industrie. Wiesbaden 1958.

Mertsch, Fritz:
Die Aufgaben der Statistik in den verschiedenen Wirtschaftsordnungen. Berlin 1954.

Mood, Alexander:
Introduction to the Theory of Statistics. New York 1950.

Morgenstern, Dietrich:
Einführung in die Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik.- Berlin 1964.

Morgenstern, Oskar:
=Genauigkeit= Über die Genauigkeit wirtschaftlicher Beobachtungen.- Wien - Würzburg 1965.

Morse, Philip M.:
Queues, Inventories and Maintenance.- New York 1958.

Müller-Merbach, Heiner:
=Mehrproduktfertigung= Die Bestimmung optimaler Losgrössen bei Mehrproduktfertigung. Diss. Darmstadt 1962.

National Association of Accountants (NAA)
Research Report No. 35/1959.

Nolfi, Padrot:
=Idee= Idee und Wahrscheinlichkeit.- Neuchâtel 1956.

Opitz, Herward und Brammertz, Paul:
Untersuchungen der Ursachen für Form- und Massfehler bei der Feinbearbeitung.- Forschungsbericht Nr. 1008 des Landes Nordrhein-Westfalen. Köln und Opladen 1961.

Opitz, Ostermann und Gappisch:
Beobachtungen über den Verschleiss von Hartmetallwerkzeugen.- Forschungsbericht Nr. 668 des Landes Nordrhein-Westfalen. Köln und Opladen 1958.

Pack, Ludwig:
=Optimale Bestellmenge= Optimale Bestellmenge und optimale Losgrösse.- Wiesbaden 1964.

Pearson, Karl:
Tables for Statisticians and Biometricians, Part I. 3. Edition. London 1930.

=Tables= Tables of the incomplete Gamma-function. Cambridge University Press 1957.

Pfaffenberger, Ulrich:
=Produktionsplanung= Probleme der Produktionsplanung bei Mehrprodukten - Mehrstufenfertigung.- Diss. Tübingen 1963.

Pfanzagl, Johann:
=Methodenlehre= Allgemeine Methodenlehre der Statistik I u. II. Göschen-Band 746/747. Berlin 1962.

Die axiomatischen Grundlagen einer allgemeinen Theorie des Messens. Würzburg 1959.

Philosophisches Wörterbuch - Kröners Taschenausgabe. Band 13. Stuttgart 1961.

Pieruschka, Erich:
Principles of Reliability.- Englewood Cliff, N.Y. 1963.

Raible, Franz:
Erfolgreiche Fertigungslenkung mit Organisationsbeispielen aus Klein-, Mittel- und Grossbetrieben.- Stuttgart 1961.

Reichenbach, Hans:
=Wahrscheinlichkeitslehre= Wahrscheinlichkeitslehre.- Leiden 1935.

Riebel, Paul:
=Erzeugungsverfahren= Industrielle Erzeugungsverfahren.- Wiesbaden 1963.

Roth, Ludwig und Bujack, Hadrian:
Mathematisch-statistische Methoden bei der Inventur der Werkstattbestände. ASQ/AWF 3. Frankfurt/Main 1961.

Sadowski, W.:
Theorie und Methoden der Optimierungsrechnung in der Wirtschaft.- Berlin 1963.

Schlaifer, Robert:
Probability and Statistics for Business Decisions.- New York 1959.

Schlüter, Hartmann:
=Untersuchungen_ Untersuchungen zum Problem der optimalen Losgrösse. Diss. Frankfurt 1958.

Schmalenbach, Eugen:
=Kapital= Kapital, Kredit und Zins. 4. Aufl. Köln und Opladen 1961.

=Wirtschaftslenkung= Pretiale Wirtschaftslenkung. Bd. I und II. Bremen - Horn 1947.

Schmetterer, Leopold:
Einführung in die mathematische Statistik.- Wien 1956.

Schmidtke, Heinz; Stier, Fritz:
=Bewegungsabläufe= Der Aufbau komplexer Bewegungsabläufe aus Elementarbewegungen. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 822. Köln und Opladen 1960.

Schweitzer, Marcell:
=Probleme= Probleme der Ablauforganisation in Unternehmungen.- Berlin 1964.

Stegmüller, Wolfgang:
=Gegenwartsströmungen= Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie.- Stuttgart 1960.

Storm, Regina:
=Wahrscheinlichkeitsrechnung= Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle.- 2. Aufl. Leipzig 1967.

Tables for Statisticians and Biometricians
Edited by Karl Pearson, Part I. 3. Edition. Cambridge University Press 1930.

Tintner, Gerhard:
Handbuch der Ökonometrie.- Berlin - Göttingen - Heidelberg 1960.

Uebermuth, Hermann:
Wirtschaftliche Losgrösse - Selbstkosten - Umlaufmittel.- Berlin 1959.

U.S. Department of Commerce
Tables of the Exponential Function e^x
National Bureau of Standards. Applied Mathematical Series 14, 4th Ed. Washington 1961.

U.S. Department of Commerce
Table of the Gamma-Function for Complex Arguments. Applied Mathematical Series 34, Washington 1954.

van der Velde:
=Herstellungskosten= Herstellungskosten in der Kostenrechnung und in der Steuerbilanz.- Stuttgart 1960.

Vormbaum, Herbert:
=Kapazität= Die Messung von Kapazitäten und Beschäftigungsgraden industrieller Betriebe. Diss. Hamburg 1951.

Wallis, Allen und Roberts, Harry:
=Statistik= Methoden der Statistik.- Freiburg/Br. 1960.

Weatherburn, C.E.:
=Mathematical Statistics= a first course in Mathematical Statistics.- Cambridge 1962.

Weber, Erna:
=Grundriss= Grundriss der biologischen Statistik.- 5. Aufl. Jena 1964.

Weinberg, Franz:
=Termin-Grobplanung= Termin-Grobplanung. Zürich 1954.

Wellnitz, Karl:
=Wahrscheinlichkeitsrechnung= Moderne Wahrscheinlichkeitsrechnung.- Braunschweig 1964.

Wetzel, Wolfgang:
=Statistische Tabellen= Elementare statistische Tabellen.- Kiel 1965.

Weyh, Ulrich:
=Schaltungsalgebra= Elemente der Schaltungsalgebra.- München 1964.

Wörterbuch der philosophischen Begriffe, 2. Aufl. Hrsg. von Johannes Hoffmeister. Hamburg 1955.

Zemanek, Heinz:
Elementare Informationstheorie.- Wien und München 1959.

Zimmermann, Hans-Jürgen:
Mathematische Entscheidungsforschung.- Berlin 1963.

Literaturverzeichnis

II. Beiträge aus Zeitschriften und Sammelwerken

Adam, Adolf:
Entropie und Streuung.-
In: Metrika, 1/1958, S. 99-110.

Agthe, Klaus:
=Probleme= Das Problem der unsicheren Erwartungen bei unternehmerischen Planungen und Entscheidungen.
In: Unternehmensplanung. Baden-Baden 1963.

Bücher, Karl:
=Massenproduktion= Das Gesetz der Massenproduktion.-
In: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaften 66/1910, S. 429-444.

Burkhardt, Felix:
Anwendungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung undder mathematischen Statistik in der Wirtschaft.-
In: Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik. Berlin 1956.

Braun, H.:
Kosten nicht genutzter Kapazität und steuerliche Bewertung der Halb- und Fertigfabrikate.-
In: Die Wirtschaftsprüfung 5/1962, S. 513-543.

Britzelmayr, Wilhelm:
Logisch-philosophische Bemerkungen zur Axiomatik der Wahrscheinlichkeitslehre.-
In: Mitteilungen für mathematische Statistik 4/1952, S. 167-172.

Cantor, Georg:
=Beiträge= Beiträge zur Begründung der transfiniten Mengenlehre.-
In: Cantor, Georg: Gesammelte Abhandlungen. Hrsg. von Ernst Zermelo, Hildesheim 1962.

=Historische Notizen= Historische Notizen über die Wahrscheinlichkeitsrechnung.-
In: Cantor, Georg: Gesammelte Abhandlungen. Hrsg. von Ernst Zermelo, Hildesheim 1962.

Coombs, C.H.:
A Study of Decision Making under risk.-
In: La Décision. Colloques Internationaux Du Centre National de la Recherque Scientifique. Paris 1961.

Davis, J.D.:
=Analysis= An Analysis of Some Failure Data.-
In: Journal of American Statistical Assoc.
47/1952, Heft 6.

Eberhardt, Oskar und Skuin, Konrad:
Standzeit von Schnellarbeitsstahl-Drallbohrern.-
In: Fertigungstechnik und Betrieb 10/1961, S. 659-664.

Epstein, B.:
=Tests= Tests for the validity of the assumption that the underlying distribution of life is exponential.-
In: Technometrics 2/1960, S. 83-101, 167-183.

Erismann, Theodor:
=Sein und Denken= Wahrscheinlichkeit im Sein und Denken.-
In: Studium Generale 4/1951, Heft 2, S. 88-109.

Erker, Alfred:
Statistische Betrachtungen über das Verhalten der Metalle unter schwingender Beanspruchung.-
In: Qualitätskontrolle 8/1963, Heft 11, S. 125-128.

Sicherheit und Bruchwahrscheinlichkeit.-
In: MAN-Forschungsheft 8/1958, Nürnberg.

Faehndrich, Hanner:
Fehler als wirtschaftlicher Tatbestand.-
In: Industrielle Organisation 33/1964, S. 289-294.

Fischer, Kilian, Matthies:
Belastungsplanung und Programmverteilung.-
In: Fertigungstechnik und Betrieb 13/1963, Heft 11, S. 768-714.

Gebelein, Hans:
=Logarithmische Normalverteilung= Logarithmische Normalverteilungen und ihre Anwendung.-
In: Mitteilungsblatt für mathematische Statistik 2/1950, Heft 3, S. 155-170.

Gnedenko, Boris:
=Nachprüfung= Über die Nachprüfung statistischer Hypothesen mit Hilfe der Variationsreihe.-
In: Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik, Berlin 1956, S. 97-107.

Grochla, Erwin:
=Unternehmungsorganisation= Technische Entwicklung und Unternehmungsorganisation.-
In: Organisation und Rechnungswesen. Festschrift für Erich Kosiol, Berlin 1964, S. 53 - 80.

Gröbner, Wolfgang:
Über die Anwendung des Wahrscheinlichkeitsbegriffes in der Physik.-
In: Studium Generale 4/1953, Heft 2, S. 72-77.

Gryna, Frank M.:
Basic statistical Concepts of Reliability.-
In: Proceedings Seventh National Symposion on Reliability and Quantity Control, January 1961, S. 41-50.

Gumbel, E.J.:
Statistische Theorie der Ermüdungserscheinungen bei Metallen.-
In: Mitteilungsblatt für mathematische Statistik 8/1956, S. 97-129.

Haller-Wedel, Ernst:
Eine Häufigkeitsanalyse der Maschinen-Nutzungsgrade in einer Stanzerei mit Hilfe des Multimomentverfahrens.-
In: Werkstatt und Betrieb 95/1962, Heft 4, S. 226.

Hrabak, J.:
Der Einfluss des Zufallfehlers auf die Gruppensortierung.-
In: Feingerätetechnik 10/1961, Nr. 1, S. 38 - 43.

Hubert, Peter Johann:
Kapazitätsausnutzung und Wirtschaftlichkeit - ein Beitrag zum Begriff der betrieblichen Kapazität.-
In: Industrielle Organisation 33/1964, S. 529-531.

Jecklin, H.:
=Historisches= Historisches zur Wahrscheinlichkeitsdefinition.-
In: Dialectica Vol. 3 N. 9/10, 1949.

Keiter, Friedrich:
=Grundformen= Grundformen gesellschaftlich-kultureller Lebensvorgänge.-
In: Handbuch der Soziologie, Ferdinand Entze-Verlag, Stuttgart, S. 716-780.

Kilian, R.:
Losrhythmus und Programmverteilung.-
In: Fertigungstechnik und Betrieb 13/1963, Heft 6, S. 370-375.

Killmann, V. und Ghircoiasiu, N.:
Ein Beitrag zur Bestimmung des Verschleisszustandes der Werkzeugmaschinen.-
In: Maschinenbau-Technik 9/1960, Heft 3, S. 120-124.

Kao, J.H.K.:
=Life-testing= The mixed Weibull distribution in life-testing of electron tubes.
In: American Society for Quality Control, 13th National Convention Transactions 1959, S. 267-282.

Kosiol, Erich:
Finanzplanung und Liquidität.-
In: ZfHF 7/1955, S. 251-272.

Kosiol, Erich:
=Medellanalyse= Modellanalyse als Grundlage unternehmerischer Entscheidungen.-
In: Sonderdruck der ZfHF 13/1961, Heft 7.

=Wesen und Sinn= Wesen und Sinn der Planung und Optimierung.-
In: Der Mensch und die Technik, 6. Jhrg. 80. Ausg. 1964, S. 1.

Kosiol, Erich mit Szyperski, Norbert und Chmielewicz, Klaus:
=Systemforschung= Zum Standort der Systemforschung im Rahmen der Wissenschaften.-
In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 17/1965, Heft 7, S. 337-378.

Krauss, Werner:
Kriterien der Zuverlässigkeit.-
In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 1960, Heft 9, S. 410-413.

Kühn, Ulrich:
=Bewertung= Zur Frage der Bewertung von Halb- und Fertigerzeugnissen.-
In: Die Wirtschaftsprüfung 6/1953, S. 227-229.

Lang, R.:
=Statistische Auswertung= Zur statistischen Auswertung von schiefen Verteilungen mit einer festen Grenze.-
In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 1959, Nr. 8/9, S. 263-267.

Langen, Heinz:
=Prognose= Prognose von Zahlungseingängen.-
In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 34/1964, Nr. 5, S. 289-326.

=Zahlungsströme= Betriebliche Zahlungsströme und ihre Planung in dynamischer Sicht.-
In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 35/1965, Heft 5, S. 261-279.

László, Gillemot:
Zur rechnerischen Ermittlung der Brucharbeit.-
In: Materialprüfung Bd. 3/1961, Nr. 9, S. 330-336.

Littmann:
=Betriebsabrechnung= Betriebsabrechnung und Selbstkostenrechnung in der steuerlichen Erfolgsbilanz.-
In: Steuer und Wirtschaft 25/1948, S. 779-859.

Lottes, Hanns:
Der Warenbestand in der pagatorischen Bilanztheorie.-
In: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis 1951, S. 135-150.

Martin, Heino:
Wahrscheinlichkeit der Fehlentscheidungen bei Einstufung in Qualitätsklassen.-
In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 5/1960, Nr. 9, S. 109-112.

Matthies, W.:
Belastungsplanung mit Hilfe variabler Verteilungsnormativen des Arbeitszeitaufwandes.-
In: Fertigungstechnik und Betrieb 14/1964, Heft 11, S. 647-650.

von Mises, Ludwig:
=Bemerkungen= Bemerkungen über die mathematische Behandlung nationalökonomischer Probleme.-
In: Studium Generale 6/1953, S. 662-665.

von Mises, Richard:
=Wahrscheinlichkeitsrechnung= Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung.-
In: Selected Papers of Richard v. Mises, Volume Two, Providence 1964, S. 57-105.

Nolfi, Padrot:
Die Wahrscheinlichkeitstheorie im Licht der dialektischen Philosophie.-
In: Dialectica Vol. 3, N 9/10 1949, S. 16-23.

Pál, Réti:
Die Streuung der Ergebnisse von Dauerschwingversuchen und ihr Einfluss auf die Aufzeichnung der Wöhlerkurve.-
In: Materialprüfung Bd. 4/1962, Nr. 10, S. 357-362.

Petrov, V.A.:
=Zusammenstellung= Zusammenstellung des optimalen Kalenderplanes bei der Fertigung von Gruppenfließstrassen.-
In: Fertigungstechnik und Betrieb 14/1964, Heft 4, S. 251-254.

Pieruschka, Erich:
Die statistische Verteilung für das Auftreten des zweiten, dritten, oder allgemein n-ten Fehlers eines Gerätes.-
In: Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik 35/1955, Nr. 12, S. 470-473.

Preger, K.-Th.:
Technologische Grundwerte in der Zerspantechnik.-
In: Werkstatt und Betrieb 98/1965, Heft 7, S. 509-511.

Plait, A.:
=Weibull-distribution= The Weibull-distribution.
In: Industrial Quality Control 5/1962-63, Nr. 5, S. 17-26.

Rabár, Ference und Krajesovits, Marton:
Zur Frage der Produktionsplanung mit der Anwendung mathematischer Methoden in der Serienfertigung.-
In: Metrika 7/1963, S. 213-230.

Radzikowki, W.:
Regressionsanalyse zur Ermittlung des Arbeitszeitaufwandes in der Serienfertigung.-
In: Fertigungstechnik und Betrieb 14/1964, Heft 5, S. 313-317.

Rényi, Alfred:
Der axiomatische Aufbau der Wahrscheinlichkeitsrechnung.-
In: Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik, Berlin 1956.

Richter, Hans-Ulrich:
Vergleicnende ultraakustische, magnetische und elektrische Untersuchungen an freiformgeschmiedeten Kurbelwellen.-
In: Materialprüfung 4/1962, Nr. 12, S. 445-455.

Rohrer, Ludwig:
=Herstellkosten= Herstellungskosten in betriebswirtschaftlicher und steuerlicher Sicht.-
In: Der Betrieb 11/1958, S. 1.

Saljé, Ernst:
Genauigkeit und Steifigkeit spanender Werkzeugmaschinen.-
In: Werkstatt und Betrieb 93/1960, Heft 3, S. 129.

Schindele, Wilhelm:
Zum Begriff der steuerlichen Anschaffungs- und Herstellungskosten unter besonderer Berücksichtigung der Fertigungskosten.-
In: Der Betriebs-Berater 13/1958, S. 1029.

Schreiber, H.-H.:
Zur mathematisch-statistischen Auswertung von Lebensdauerversuchen mit Wälzlagern.-
In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 8/1963, Nr. 6 und 7, S. 59-66, S. 337-345.

Schweitzer, Marcell:
=Prozeßstrukturierung= Die Reihenfolge der Bearbeitung als Problem der Prozeßstrukturierung.
In: Organisation und Rechnungswesen. Festschrift für Erich Kosiol, Berlin 1964, S. 181-208.

Sippel, A. und Heim, E.:
Auswertung textiler Messwertkollektive.-
In: Zeitschrift für die gesamte Textilindustrie 64/1962, Nr. 1, S. 6-14.

Sokolizin, S.A.:
Anwendung der Wahrscheinlichkeitstheorie für die Bestimmung der Zwischenoperationszeit (Russisch).-
In: Arbeiten des Leningrader Polytechnischen Institutes M. I. Kalinin, Nr. 214. Moskau 1960, S. 89-100.

=Abschnitte= Gegenstandsgeschlossene Abschnitte und ihre Rolle bei der Entwicklung der Fliessfertigung (Russisch).-
In: Methoden der Fliessfertigung im Maschinen- und Gerätebau mit Serienfertigung, Moskau-Leningrad 1958, S. 69-76.

Stange, K.:
=Abgangslinie= Zur Ermittlung der Abgangslinie für wirtschaftliche und technische Gesamtheiten.-
In: Mitteilungsblatt für mathematische Statistik 7/1955, Heft 2, S. 113-151.

Stefanic-Allmeyer:
=Bestellmenge= Günstigste Bestellmenge beim Einkauf.-
In: Sparwirtschaft, Wien 1927, S. 504-508.

Stegmüller, Wolfgang:
=Wahrscheinlichkeitsproblem= Bemerkungen zum Wahrscheinlichkeitsproblem.-
In: Studium Generale 6/1953, S. 563-593.

Steinhaus, Hugo:
=Prinzipielle Fragen= Über einige prinzipielle Fragen der mathematischen Statistik.-
In: Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik, Berlin 1956.

Strömer, Harald:
Ein Test zum Erkennen von Exponentialverteilungen.-
In: Metrika 5/1962, S. 128-137.

Strohal, Richard:
=Bemerkungen= Bemerkungen zur Hypothesenwahrscheinlichkeit.-
In: Studium Generale 4/1951, Heft 2, S. 80-88.

Theile, Ulrich:
=Mensch und Maschine= Über die Zuverlässigkeit beim Zusammenwirken von Mensch und Maschine.-
In: VDI Berichte Nr. 80/1964.

Vietoris, Leopold:
=Wahrscheinlichkeit= Wie kann Wahrscheinlichkeit definiert werden?-
In: Studium Generale, 4/1953, Heft 2, S. 69-72.

van der Waerden, B.C.:
=Begriff= Der Begriff Wahrscheinlichkeit.-
In: Studium Generale, 4/1953, Heft 2, S. 65-68.

Walter, Edward:
Über die Ausnutzung der Irrtumswahrscheinlichkeit.-
In: Mitteilungsblatt für mathematische Statistik 6/1954, S. 170-179.

Wartmann, Rolf:
=Bemerkungen= Einige Bemerkungen zur logarithmischen Normalverteilung.-
In: Mitteilungsblatt für mathematische Statistik 7/1955, Heft 2, S. 152-165.

Weibull, W.:
=Distribution function= A statistical distribution function of wide applicability.-
In: Journal of Applied Mechanics 18/1951, S. 293-297.

Weinberg, Franz:
Die Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Industrie.-
In: Industrielle Organisation 24/1955. S. 429-434.

Weinstock, George D.:
=Reliability= System reliability: redundant networks.
In: Electro-Technology 74/1964 Nr. 2, S. 26-29, 152.

Wilde, H.:
=Bestimmung= Die Bestimmung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer von elektrischen Bauelementen.-
In: Archiv für Technisches Messen Z 737-1, Lieferung 316/1962, S. 115-118 und Z 737-2, Lieferung 317/1962, S. 139-142.

Wittenberg, Ulrich:
=Verteilungstheorien= Verteilungstheorien für Störungen und Ausfälle von Maschinen und Anlagen.-
In: Qualitätskontrolle 8/1963, Heft 12, S. 144-148.

L e b e n s l a u f

Ich wurde am 14.4.1923 als Sohn des Physikers Alexis Leman und seiner Ehefrau Margarete geb. Hermann in Freiburg im Breisgau geboren. Im Jahre 1926 übersiedelten meine Eltern nach Berlin. Hier besuchte ich die 4. Volksschule und das Arndt - Gymnasium in Berlin-Dahlem bis zum Abitur einschließlich. Den Krieg erlebte ich als Flugzeugführer an allen Fronten.

Nach dem Kriege arbeitete ich zunächst als Kraftfahrer und legte nach einem Umlernkursus und einer eineinhalbjährigen Ausbildung 1949 die Facharbeiterprüfung fur Elektromechaniker ab. Ab 1952 studierte ich an der Abendfachschule der Ingenieurschule Beuth. Im Sommersemester 1957 schrieb ich mich als Student der Betriebswirtschaftslehre an der Abenduniversität der Freien Universität Berlin ein. Ich beschäftigte mich während meines Studiums besonders intensiv mit der industriellen Betriebswirtschaftslehre und mit Wirtschaftsrecht. Zu meinen akademischen Lehrern gehörten die Professoren Kosiol, Paulsen, Wetzel und Hirsch. Im Sommersemester 1962 legte ich die Diplomprüfung für Betriebswirte ab. Nach dem Examen arbeitete ich mehrere Jahre in verschiedenen Werken eines Konzerns der Elektroindustrie und übernahm 1967 die kaufmännische Leitung einer Berliner Unternehmung.

Fred Höpfner · Dissertationsdruck · 1 Berlin 12 · Pestalozzistr. 105 · Tel. 318885